

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

# **Automatizované pracoviště pro CNC soustruh**

Automated Workplace with CNC Lathe

Student:

Bc. Mikuláš Pustka

Osobní číslo:

PUS0054

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Hapla

Ostrava 2020

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Mikuláš Pustka**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Automatizované pracoviště pro CNC soustruh**  
**Automated Workplace with CNC Lathe**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhnete automatické pracoviště pro vkládání a vyjímání polotovarů včetně materiálových skluzů. Pracoviště je určeno pro horizontální soustruh Haas ST-20Y.

V řešení vypracujte dvě automatizované pracoviště ve schematických návrzích:

- standardní robotika (robot ABB),
- kolaborativní robotika (robot UR).

Vyhodnoťte vhodnější variantu s ohledem na požadovaný výkon a parametry pracoviště. U zvolené varianty vypracujte 3D model s potřebnými náležitostmi a zpracujte analýzu rizik.

Vypracujte výkresovou dokumentaci na vybrané části automatizovaného pracoviště.

### Parametry obráběného dílu:

- vstupní polotovar: Litinový odlitek, č.v.: ODL85-00.10.00.00.
- výstupní výrobek: Ložisková příruba, č.v.: SRT85-00.10.00.00.
- obráběcí čas: zadní strana 12 minut, čelo 23 minut.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

NĚMČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8

KALÁB Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: části spojovací*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8

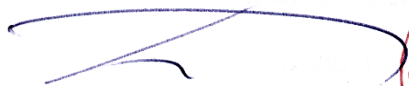
LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Úvaly: Albra, 2003, 888 s. ISBN 80-86490-74-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Hapla**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



---

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis studenta

### Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující společnost:

EPO MACHINERY s.r.o.

Závodí 234

Frenštát pod Radhoštěm, 744 01

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Ing. Martin Pindur

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis oprávněné osoby

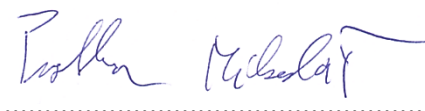
(případně razítko)

**EPO MACHINERY**  
Závodí 234, 744 01 Frenštát p. Radhoštěm  
IČ: 29389577, DIČ: CZ29389577, [www.epomachinery.cz](http://www.epomachinery.cz)

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis autora práce

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PUSTKA, M. *Automatizované pracoviště pro CNC soustruh: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 73 s. Vedoucí práce: Hapla, T.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh. V teoretické části jsou popsány dva druhy automatizačních robotů a je zde také popsán i CNC soustruh pro navrhované pracoviště. Při konstrukčním návrhu bylo postupováno podle knihy *Obecný model postupu při konstruování*, vydaný od Vladimíra Hubky. V praktické části je nejprve zobrazen celkový návrh automatizovaného pracoviště, které bylo poté rozděleno do čtyř konstrukčních uzlů. Každý z konstrukčních uzlů je v práci detailně zobrazen a popsán. Také je vždy vysvětlena funkce každého navrženého zařízení. Na závěr diplomové práce je provedena analýza rizik, která je nezbytná pro bezpečné fungování každého strojního zařízení. V přílohách se nachází patřičná výkresová dokumentace.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

PUSTKA, M. *Automated Workplace with CNC Lathe: Master Thesis*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 73 p. Thesis head: Hapla, T.

This Master's Thesis deals with the design of Automated Workplace with CNC Lathe. In the theoretical part, CNC lathe used for design workplace and different types of two automated robots are described. During the design, the author takes an inspiration from the book "Workshop Design Construction" published by Vladimír Hubka. The practical part firstly provides the design of the entire automated workplace that is divided into four construction parts. Each part is depicted and described in details. Also, the purpose of every single component is explained. Finally, risk analysis is done that is necessary for safe function of each machinery. Attachment contains relevant drawing documentation.

# Obsah

Seznam použitých značek .....	10
Úvod .....	11
1 Průmyslové roboty .....	12
1.1 Rešerše .....	13
1.1.1 Standartní průmyslové roboty .....	13
1.1.2 Kolaborativní průmyslové roboty .....	14
1.2 Shrnutí rešerše .....	16
1.3 Obráběcí stroj HAAS ST-20Y .....	17
2 Výběr nejlepší varianty automatizovaného pracoviště .....	18
2.1 Upřesnění zadání .....	18
2.2 Požadavkový list .....	18
2.2.1 Funkce a účinky .....	18
2.2.2 Funkční parametry .....	20
2.2.3 Provozní vlastnosti .....	20
2.2.4 Ergonomické a ekologické vlastnosti .....	21
2.2.5 Vzhledové vlastnosti .....	21
2.2.6 Distribuční vlastnosti .....	22
2.2.7 Vhodnost pro rychlé dodání .....	22
2.2.8 Respektování zákonů, předpisů a norem .....	22
2.2.9 Vhodnost pro výrobu .....	22
2.2.10 Ekonomické vlastnosti .....	23
2.2.11 Vhodnost pro likvidaci .....	23
2.2.12 Konstrukční vlastnosti .....	23
2.3 Kritéria na výběr konceptu .....	24
2.4 Transformační proces – černá skříňka .....	24
2.5 Technický proces .....	25
2.6 Morfologická matice .....	25
2.7 Výběr nejlepší varianty řešení pracoviště .....	28
3 Návrh automatizovaného pracoviště .....	29
3.1 Celkový návrh automatizovaného pracoviště .....	29
3.2 Popis funkce automatizovaného pracoviště .....	30
3.3 Dopravník .....	31
3.3.1 Rám dopravníku .....	32
3.3.2 Pneumatický rozvaděč .....	36



3.3.3	Zařízení pro posuv odlitků .....	38
3.4	Stojan s UR robotem .....	44
3.4.1	UR robot .....	45
3.4.2	Hlava UR robota.....	47
3.4.3	Přeúchopovací pozice .....	52
3.5	Čistící zařízení .....	53
3.6	Odkládací zařízení .....	56
4	Analýza rizik .....	57
4.1	Tabulka rizik.....	57
4.2	Vyhodnocení analýzy rizik .....	61
5	Závěrečná doporučení .....	64
6	Závěr .....	65
	Poděkování.....	66
7	Seznam literatury .....	67
8	Seznam příloh .....	71
9	Seznam ilustrací a tabulek .....	72

# Seznam použitých značek

Značka nebo symbol	Význam značky nebo symbolu	Jednotky
$\alpha$	Úhel naklonění dopravníku	[°]
$\beta$	Úhel zešíkmení narážecího trnu	[°]
$f$	Součinitel tření	[-]
$F$	Síla působící kolmo na válec	[N]
$F_o$	Síla působící kolmo na narážecí trn	[N]
$F_x$	Složka síly $F_o$ v ose x	[N]
$F_y$	Složka síly $F_o$ v ose y	[N]
$g$	Konstanta tíhového zrychlení	[m · s <sup>-2</sup> ]
$G$	Gravitační síla pro odlitky	[N]
$G_T$	Gravitační síla pro trn a ustavovací desku	[N]
$H$	Názor hodnotitelů	[-]
$m$	Hmotnost devíti kusů odlitků	[kg]
$m_o$	Hmotnost jednoho odlitku	[kg]
$m_T$	Hmotnost trnu, ustavovací desky a šroubů	[kg]
$N$	Normálová složka	[N]
$N'$	Možné následky ohrožení	[-]
$P$	Pravděpodobnost vzniku a existence nebezpečí	[-]
$R$	Celkové hodnocení	[-]
$R_x$	Reakce vzniklá od síly $F_x$	[N]
$T$	Třecí síla	[N]
$x$	Směr osy x	[-]
$y$	Směr osy y	[-]

# Úvod

Robotizované pracoviště jsou ty, kde se na výrobním procesu podílí průmyslový robot. Trend v různých průmyslových odvětvích je automatizace výroby. Taktéž se již dnes robot, v čím dál větším měřítku, používá ve spolupráci s CNC soustruhem. Průmyslový robot odstraňuje monotónní práci pracovníka, kdy je nutné například upínat polotovary každých pět minut či případně méně. Taktéž odstraní namáhavou práci, kdy hmotnost obrobků může být až ve stovkách kilogramů. Taktéž rychlost a přesnost robota je určitě vyšší v porovnání s lidskou obsluhou. Samotný proces obrábění, je proces složitý a je potřeba dohled zkušené osoby v určitých časových intervalech. V některých důležitých činnostech při tomto procesu nelze zatím člověka nahradit. Například úvodní údržba a seřízení CNC stroje, výměna plátků na obráběcím noži, nastavení korekcí v průběhu obrábění a změření přesných rozměrů hotového výrobku. Nutno dodat, že poslední dva zmíněné případy se dnes dají určitým způsobem automatizace řešit a dle mého názoru v blízké budoucnosti, se tento problém eliminuje úplně.

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh robotizovaného pracoviště pro CNC soustruh HAAS ST-20Y. V jedné části pracoviště vloží obsluha na dopravník litinový polotovar ložiskové příruby, který je pomocí průmyslového robota vložen a posléze zase vytažen z CNC soustruhu. Hotové výrobky jsou ukládány na paletu, nebo do přepravní bedny. Je potřeba zajistit pneumatickou čistotu obrobku. Je nutné, aby automatizované pracoviště bylo funkční a spolehlivé. Součástí řešení je také analýza rizik a vybraná výkresová dokumentace.

Zadání diplomové práce mi stanovila společnost EPO Machinery s.r.o., se kterou jsem také konzultoval všechny konstrukční uzly tohoto pracoviště.

# 1 Průmyslové roboty

V samém začátku této diplomové práce jsem se zmínil o průmyslových robotech, neboť jeden z hlavních prvků tohoto konstrukčního návrhu robotizovaného pracoviště, je právě průmyslový robot. Slovo robot, jak je všem známo, představil Karel Čapek ve své divadelní hře R.U.R., již v roce 1921. Samotné slovo ovšem vymyslel jeho bratr Josef Čapek. V divadelní hře jsou roboti takzvaně umělí lidé, kteří nejprve pomáhají s různorodou prací na jednom ostrově, a poté se hojně rozšíří. Nakonec se roboti vzbouří lidstvu a téměř ho vyhubí. Posléze zjistí, že se opotřebovávají a nedokáží se sami opravit. Celé dějství končí tím, že roboti k sobě projeví určité city, čímž se velmi podobají lidem. Naštěstí v mém případě se jedná o průmyslové roboty, kteří nejsou (zatím) tohoto schopní. Historicky první robot se objevil v roce 1937 a byl poháněn jedním elektrickým motorem. Měl pět os, včetně uchopení a otáčení. Robot byl automatizován pomocí papírové pásky s úderníkem a solenoidů. Tím vznikl pohyb v ovládacích pákách. Tento první robot dokázal nahromadit dřevěné bloky ve vzorcích naprogramovaných papírovou páskou. [8] Už v roce 1961 robot dokázal nahradit dělníky v továrně v New Jersey a v 80-tých letech došlo k výraznějšímu rozšíření. Tohle byl letmý pohled do historie a dále se v práci zabývám již jen moderními průmyslovými roboty.

Jaká je vlastně hlavní výhoda robota a jaký je jeho přínos? Zjednodušeně lze napsat, že průmyslový robot má za úkol ulehčit, zjednodušit a případně úplně odstranit namáhavou práci, kterou vykonává člověk. Další výhodou robotů je jejich možnost pracovat v nebezpečném prostředí. V sériové výrobě tyto pomocníci sníží zmetkovitost a zvýší možný výdělek, neboť nahradí lidskou nedokonalost. Taktéž robot nepotřebuje dovolenou, nebo návštěvu u lékaře. Lze tedy napsat, že pokud robotizované pracoviště funguje správně, dochází k zvětšení produktivity práce a na to mnoho firem slyší. Proto se v dnešní době lze čím dál více setkat s těmito roboty v různých odvětvích. Tito roboti se objevují v automobilovém průmyslu (výrobní linky, svařování, lakování, výroba plastových dílců), balícím průmyslu (peletizace, balící stroje a linky), elektronickém průmyslu (výroba tištěných obvodů), leteckém průmyslu, zdravotnickém průmyslu apod. Také se lze setkat s roboty v domácnosti, což představuje například úklidový podlahový robot. Lze tedy poznamenat, že robot lze využít k čím dál většímu počtu různých operací a do budoucna se tento počet bude stále zvětšovat. Dále je nutné poznamenat, že všechny druhy robotů musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10 218, tak aby nedošlo k poranění lidské obsluhy.

## 1.1 Rešerše

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem dvěma typů průmyslových robotů, tak aby bylo splněno zadání. Prvním z nich je standartní robot od firmy ABB a druhý typ je kolaborativní robot od výrobce Universal Robots. K těmto dvěma typům robotů jsem zpracoval následující rešerši.

### 1.1.1 Standartní průmyslové roboty

Standartní průmyslové roboty, neboli také konvenční průmyslové roboty, jak již bylo napsáno, slouží k automatizaci průmyslu. Tento druh robotů, ať už plně automatizovaných či nikoliv, se vyskytuje na pracovištích přes 50 let a nabízí mnoho řešení pro lehká, střední, ale i těžká robotická pracoviště. Roboti si poradí se zatížením na koncovém ramenu od jednoho kilogramu do několika stovek kilogramů, a proto zvládají různorodé operace. Nejčastější využití robotů je pro manipulaci a přesun různých součástí ve výrobním procesu. Dále využití lze nalézt v balení a sběru výrobků, v oblasti peletizace, nebezpečných procesů jako lakování a svařování. Mezi nejznámější a největší výrobce těchto robotů se řadí KUKA, ABB, Fanuc, Kawasaki Robotics a Stäubli.

Standartní robot pracuje na pracovišti sám a bez pomoci lidských pracovníků. Charakteristické je pro něj také mechanické oplocení. Užívá se taktéž optický závor, které při zaznamenání nechtěného pohybu v oblasti pracoviště, zastaví ihned robota. Konvenční robot je robustní a dokáže vyvinout velkou sílu, proto by docházelo k častému zranění pracovníků v případě nepoužití oplocení. Tento typ robotů má také vysoké rychlosti otáčení ramen (až 450 stupňů za vteřinu), což výrazně šetří výrobní čas. Pracovní program je pevný a případné přeprogramování robota na jinou činnost je velmi pracné. Obecně se tyto pomocníci používají v automatizované výrobě a seřízení celého pracoviště může trvat i několik týdnů. Velkou část nákladů tvoří práce spojené s naprogramováním a zabezpečením robotů (ochranné ploty).

Na obrázku 1.1 lze vidět příklad standartního průmyslového robota IRB 2400 od firmy ABB, který je nejoblíbenější a nejprodávanější verzí. Tento šestiosý robot se užívá především pro manipulaci s materiálem a obsluhou strojů ve výrobních procesech. Mezi jeho přednosti patří vysoká spolehlivost, robustní konstrukce, rychlost přesouvání a velmi dobrá přesnost dráhy a opakovatelnost polohy (0,03 a 0,07 [mm]). Užitečné zatížení je v rozmezí 12 až 20 [kg] a jeho maximální dosah je 1,8 [m]. Ustavení robota je provedeno klasicky na podlahu, nebo jsou možná závěsná řešení. Všechny výše napsané parametry jsou velmi důležité pro výběr optimálního robota pro dané robotizované

pracoviště. Později v této práci budu sám navrhovat ideální variantu pro mé konstrukční řešení. [9]



*Obrázek 1.1 – Standartní robot IRB 2400 od firmy ABB [9]*

### 1.1.2 Kolaborativní průmyslové roboty

První myšlenka kolaborativního robota, neboli kobota vznikla už v roce 1995, ovšem k značnému rozšíření došlo až v posledních letech. První fungující kobot na světě, od firmy Universal Robots, byl nasazen ve výrobním procesu v roce 2008. V posledních letech je kolaborativní robotika nejrychleji rostoucím segmentem v průmyslové robotice. Nejznámější výrobci jsou Universal Robots, Fanuc, Omron, KUKA, Stäubli, ABB a Festo.

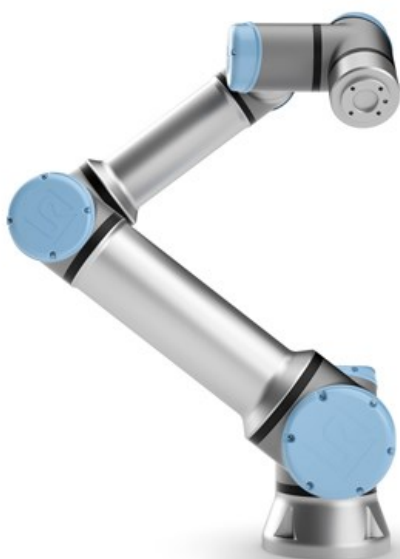
Tento druh robotů umožňuje spolupráci s lidskou obsluhou. Díky toho je možné provádět automatizaci výroby i tam, kde je k výrobnímu procesu nutné použít i lidské pracovníky. Kolaborativní robot se pohybuje pomaleji v porovnání se standartním robotem. Jakmile dojde ke kontaktu kobota s obsluhou, tak dojde k okamžitému zastavení pohybu. Díky této vlastnosti kobotů nedojde ke zranění obsluhy. Bezpečnost je zajištěna díky rychlostním a momentovým sensorům v klubech, které signalizují velikost působících sil ramen robota na obsluhu. Při překročení dovolených mezí dojde k zastavení pohybu. Dále mají velký vliv na bezpečnost také zaoblené tvary kobotů, nízká váha ramen a někteří robotičtí pomocníci disponují měkkým povrchem ramen.

Tento kobot je možné použít při zvedání a manipulaci lehkých a středně těžších břemen, šroubování, leštění, obsluze strojů, balení a spousta dalších aplikací. Pracoviště

s koboty nepotřebuje oplocení a dochází k výraznému ušetření zastavěného prostoru. Tento typ robotů má lehkou a flexibilní konstrukci, a proto ukotvení je možné v různých polohách (podlahová i stropní montáž). Naprogramování vykonávané operace zvládne každý zručnější technik a není potřeba zdlouhavého programování, tak jako u standardní robotiky. Ke kobotu je dodáván ovládací tablet s dotykovou obrazovkou, pomocí kterého se naprogramuje celý proces. Toto naprogramování je v řádu hodin, maximálně jednoho dne. Naprogramování lze provést i pomocí ručního navádění, kdy obsluha rameny kobota manipuluje po požadované dráze, poté tuto dráhu kobot opakuje. Taktéž je možnost do programovacího rozhraní naprogramovat další jednoduché operace jiných částí pracoviště. Toto rychlé uvedení kobota do provozu je výhodné pro případné přemístění malého pomocníka do jiného provozu a pro jiné operace.

Kolaborativní robot může pracovat ve dvou rychlostních režimech. Takzvaný kolaborativní režim má snížené rychlosti ramen. Maximální rychlost nástroje na konci robotu je 250 milimetrů za vteřinu. Ve standardním režimu, kde je nutné provést oplocení kolem celého pracoviště, se dokáže koncový prvek pohybovat až 1 metr za vteřinu.

Na obrázku č. 1.2 lze vidět příklad kolaborativního robota UR16e od firmy Universal Robots, který je nejnovější přírůstek do rodiny kobotů této firmy. Tento robot má manipulační zatížení 16 [kg] v dosahu 0,9 [m]. Má velmi nízkou celkovou hmotnost 33,1 [kg], při půdorysu o průměru 190 [mm]. Tento šestiosý kobot má velmi dobrou přesnost až 0,05 [mm]. Samozřejmostí je stupeň krytí IP54. Tato společnost má další tři varianty kolaborativních robotů: UR3e, UR5e a UR10e. Konstrukčně jsou si velmi podobné, ale rozdílné je jejich maximální manipulační zatížení (3, 5 a 10 kilogramů). Také má každý z robotů rozdílný dosah (500, 850, 1300 [mm]). [13]



*Obrázek 1.2 – Kolaborativní robot UR16e od firmy Universal Robots [10]*

## 1.2 Shrnutí řešerše

V předchozí podkapitole jsem podrobně a stručně popsal, jak pracují a fungují dva typy průmyslových robotů, které mohou být použity v návrhu robotizovaného pracoviště pro CNC soustruh. V této kapitole jsem stručně shrnul hlavní vlastnosti uvedených průmyslových robotů.

### Standartní průmyslový robot:

- robustní a těžká konstrukce,
- nutnost oplocení,
- nelze použít ve výrobním procesu společně s lidskou obsluhou,
- manipulační zatížení až 1 300 kilogramů,
- vysoká přesnost,
- složité naprogramování a zprovoznění,
- montáž na podlahu,
- široké spektrum aplikací.

### Kolaborativní průmyslový robot:

- lehká a flexibilní konstrukce,
- bez nutnosti oplocení,
- lze použít ve výrobním procesu společně s lidskou obsluhou,
- jednoduché naprogramování a zprovoznění,
- manipulační zatížení do 35 kilogramů,
- vysoká přesnost,
- pomalejší rychlost pohybů ramen,
- libovolný směr montáže,
- široké spektrum aplikací.



### 1.3 Obráběcí stroj HAAS ST-20Y

Důležitým prvkem robotizovaného pracoviště je také CNC soustruh HAAS ST-20Y (viz obrázek 1.3), který obrábí vstupní polotovary ložiskové příruby. Bylo nutno uvést základní informace a funkce stroje, tak abych mohl provést kompletní konstrukční návrh automatizovaného pracoviště. Toto soustružnické centrum má rozměry (délka, hloubka, výška) včetně třískového dopravníku 3 999 x 1 626 x 1 956 [mm]. Stroj je vyráběn v USA a má výkon 14,9 [kW]. Vřeteno má maximálně 4 000 [ot/min] a je zde revolverová hlava s dvanácti pozicemi. Řídicí systém je HAAS. [11]

CNC soustruh disponuje automatickými otevíratelnými a uzavíratelnými dveřmi, které snižují únavu operátora v případě, že pracoviště nemá automatizaci. Pokud se jedná o automatizované pracoviště, tak dveře lze naprogramovat tak, aby se otevíraly a uzavíraly dle přednastaveného programu. Automatické dveře tedy výrazně ulehčují nasazení automatizace. Obsluha může dveře také ovládat ručně, a to tlačítkem na ovládacím panelu stroje. Tento stroj má standardně Wi-Fi připojení pro bezdrátovou komunikaci s místní sítí daného pracoviště. Pomocí Wi-Fi lze CNC soustruh vzdáleně sledovat a přenášet jednotlivé soubory. Je to výhodné řešení pro větší strojní závody s mnoha obráběcími stroji. [11]

Jedná se o typ stroje, který nemá ve své výbavě protivřeteno. Je tedy nutné provést určité konstrukční opatření v návrhu, protože obráběný díl je nutné obrábět z obou stran. To znamená, že nejprve se upne odlitek ložiskové příruby z čela a obrobí se. Následně se odlitek upne ze zadní strany a obrobí se.



Obrázek 1.3 – Soustružnické centrum HAAS ST-20Y [12]

## 2 Výběr nejlepší varianty automatizovaného pracoviště

V této části diplomové práce je cílem postupně se dopracovat k výběru nejlepší a nejvhodnější varianty automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh, proto bylo potřeba učinit několik důležitých a nezbytných úkonů.

Pro tento výběr nejlepší varianty jsem použil Obecný model postupu při konstruování od pana Vladimíra Hubky [2]. V prvním kroku jsem si upřesnil zadání. Poté jsem podrobně vypracoval požadavkový list, kde se specifikují všechny požadavky na automatizované pracoviště. Následně jsem určil kritéria, podle kterých jsem vybíral následně ideální koncept. Další krok byl zobrazit transformační proces pomocí černé skříňky. Dále jsem uvedl všechny funkce, které musí pracoviště vykonat. Nakonec jsem v této části práce vypracoval morfologickou matici a vybral nejideálnější variantu automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh.

### 2.1 Upřesnění zadání

Navrhni automatizované pracoviště pro CNC soustruh, tak aby bylo možné následné naprogramování celého pracoviště. Pracoviště musí být bezpečné pro obsluhu a musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10 218. Taktéž je kladen důraz na co nejnižší finanční náklady a jednoduchost automatizovaného pracoviště.

### 2.2 Požadavkový list

Zadání jsem upřesnil v předchozí podkapitole a následně bylo potřeba si doplnit toto zadání o požadavky, které by mělo automatizované pracoviště splňovat. Požadavkový list je rozdělen podle jednotlivých oblastí.

#### 2.2.1 Funkce a účinky

- Možnost bezproblémového umístění polotovaru obsluhou na válečkový dopravník,
- přijatelná pracovní výška dopravníku s ohledem na ruční dávkování polotovarů obsluhou,
- nutnost dostatečného prostoru v dopravníku pro ovládací, napájecí a pneumatické prvky celého pracoviště,
- polotovar se pohybuje na válečcích dopravníku vlivem gravitace,

- polotovar se musí vždy zastavit na stejné pozici na dopravníku – tuhle funkci zajistí doraz,
- nutné zařízení, které uvolní zatížení na poslední polotovar od ostatních polotovarů na dopravníku při odebrání polotovaru robotem,
- nutné senzory, nebo čidla, které detekují přítomnost polotovaru v koncové poloze válečkového dopravníku,
- potřeba takového automatizovaného robota, který má dostatečné užitečné zatížení a pracovní rozsah pro pohyb s polotovarem,
- nutnost bezproblémového uchopení polotovaru pomocí čelistí, tak aby nedošlo k vypadnutí během přemísťování,
- přemístění polotovaru z válečkového dopravníku a vložení do sklíčidla CNC soustruhu,
- přemístění polotovaru ze sklíčidla CNC soustruhu a vložení na přeuchopovací prvek,
- přemístění polotovaru z přeuchopovacího prvku do sklíčidla CNC soustruhu,
- přemístění obrobku z CNC soustruhu do ofukovacího zařízení a poté na přepravovací EURO paletu, nebo do bedny,
- přeuchopovací prvek musí zajistit, aby bylo možné polotovar uchytit z obou stran,
- pokud se použije stojan pod robot, tak musí být dostatečně stabilní a tuhý, aby to nesnížilo přesnost robota,
- ofukovací zařízení musí dostatečně očistit obrobek od řezné kapaliny, špon a dalších nečistot,
- ofukovací zařízení musí mít čidla, nebo senzory, tak aby ofukování a čištění probíhalo automatizovaně a jen v přítomnosti obrobku v prostoru zařízení,
- ofukovací zařízení má nádobu na shromažďování řezné kapaliny a nečistot v dostatečném objemu,
- EURO paleta s hotovými obrobky je umístěna v uchycovacím prvku pro paletu,
- uchycovací prvek na paletu, bednu musí mít čidla, nebo senzory, tak aby byla zjištěna přítomnost palety (bedny) ve správné pozici,
- všechny prvky robotizovaného pracoviště musí být pevně uchyceny k základu.

### 2.2.2 Funkční parametry

- Nutný válečkový dopravník, který pojme minimálně 10 polotovarů,
- pracovní výška válečkového dopravníku přibližně 1 000 [mm] nad základem,
- nutnost dostatečně pevných válečků v dopravníku,
- dostatečná pevnost a tuhost válečkového dopravníku, tak aby se pod váhou polotovarů nezhroutil,
- vnitřní šířka dopravníku minimálně 350 [mm], tak aby bez problému polotovar sjel na doraz,
- pracovní rychlost automatizovaného robota musí být taková, aby zbytečně neprodlužovala celý pracovní cyklus,
- únosnost robota by měla být v rozmezí 9 – 12 [kg],
- pracovní rozsah robota minimálně 1 000 [mm],
- uchopovací čelisti robota musí zajistit dostatečně silné uchopení polotovaru,
- čelisti uchopí polotovar pomoci vnitřní díry o průměru 69 [mm],
- čelisti uchopí obrobek pomoci vnitřní díry o průměru 85 [mm],
- dostatečný čistící výkon ofukovacího zařízení,
- nádoba na řeznou kapalinu musí mít minimální objem 5 [dm<sup>3</sup>],
- rozměry EURO palety a bedny pro obrobené kusy jsou 1 200 x 800 [mm],
- snaha o navržení pracoviště, pokud možno s co nejmenší zastavěnou plochou.

### 2.2.3 Provozní vlastnosti

- Pracoviště musí spolehlivě fungovat a vykonávat správně všechny své funkce, tak aby se potlačila přítomnost lidské obsluhy,
- pro prostředí výrobních hal o dané čistotě,
- životnost zařízení minimálně 5 let (uvažuji užití 5 x týdně po dobu 16 hodin),
- nemusí být vhodné k uskladnění,
- je dovoleno užít elektrické energie k provozu,

- je dovoleno užít pneumatické zařízení,
- vyhnout se napájení pomocí baterií a akumulátorů,
- pokud možno minimální nebo žádné nároky na servis a údržbu,
- maximální hlučnost celého pracoviště 60 [dB],
- snaha o co nejnižší zatížení ekologie,
- snaha o co největší míru automatizace,
- snaha o co nejnižší nároky na elektrickou energii celého pracoviště.

## 2.2.4 Ergonomické a ekologické vlastnosti

- Bezpečný provoz celého pracoviště,
- nesmí dojít ke zranění obsluhy během provozu pracoviště,
- nesmí dojít ke zranění obsluhy během pravidelné údržby pracoviště,
- výstražně označit místa, kde by mohlo dojít k poranění obsluhy,
- snaha o navržení pracoviště, tak aby byla zajištěna pohodlná obsluha,
- snaha o jednoduché naprogramování, spuštění a provozování pracoviště,
- pracoviště musí mít zaručenou stabilitu všech dílčích prvků,
- navržené a použité materiály nesmí být zdraví škodlivé a ohrožující pro obsluhu a okolí,
- snaha o navržení takových dílčích prvků, které neuvolňují škodlivé oleje a látky,
- automatizované pracoviště respektuje přírodní zákonitosti,
- při návrhu v co největší míře použít již vyráběné normalizované díly a součásti,
- pracoviště by nemělo vylučovat škodlivé emise pro obsluhu a okolí.

## 2.2.5 Vzhledové vlastnosti

- Barevně neutrální a nevýrazné pracoviště,
- navržený povrch jednotlivých prvků musí být vhodný k určenému použití,
- uspokojivé tvary pracoviště,

- nebezpečné prvky pracoviště odlišit od zbytku pracoviště (například použitím výstražné barvy),
- uspokojivý zastavěný půdorys pracoviště,
- automatizované pracoviště nesmí působit laciným dojmem u provozovatele.

### 2.2.6 Distribuční vlastnosti

- Celé pracoviště bude rozloženo na takovou velikost, aby se dalo přepravit nákladním autem,
- rozložené pracoviště bude dostatečně zabaleno a zabezpečeno, tak aby nedošlo k poškození během přepravy,
- pracoviště bude zkompletováno a složeno pracovníky firmy, která toto pracoviště zhotovila,
- při převážení a dopravě se vyhnout silným rázům a otřesům,
- vyhnout se skladování a dopravování při teplotách nižších jak -10 [°C].

### 2.2.7 Vhodnost pro rychlé dodání

- Lhůta dodání do konce listopadu 2020.

### 2.2.8 Respektování zákonů, předpisů a norem

- Automatizované pracoviště musí respektovat zákony, předpisy, směrnice a normy,
- požadavek na neporušení patentových práv.

### 2.2.9 Vhodnost pro výrobu

- Kusová výroba s případnými úpravami podle jednotlivých výrobních provozů a přání zákazníka (přizpůsobení různým CNC strojům apod..),
- požadavek na ekonomicky výhodnou výrobu.

### 2.2.10 Ekonomické vlastnosti

- Požadavek na co nejnížší výrobní a montážní náklady se zachováním výroby a kompletace pracoviště v České republice,
- použití normalizovaných dílů a osvědčených funkčních řešení,
- požadavek na minimální provozní náklady automatizovaného pracoviště z hlediska údržby,
- přijatelné náklady na doručení a dopravu,
- přijatelná efektivita a rychlost výroby,
- snaha o navržení pracoviště tak, aby bylo v budoucnu možné jeho jednotlivé části použít pro jiné účely, když bude například změněn výrobní program,
- cena automatizovaného pracoviště do 1 500 000 [Kč].

### 2.2.11 Vhodnost pro likvidaci

- Vhodné pro případnou recyklaci,
- snaha nepoužít materiály, které nelze recyklovat,
- jednoduchá demontáž v budoucnu,
- možnost opětovného použití jednotlivých dílů na jiné pracoviště.

### 2.2.12 Konstrukční vlastnosti

- Vyhnout se ostrým hranám, tak aby nedošlo k poranění obsluhy pracoviště,
- povrch, kde dochází k pravidelnému kontaktu kov na kov, musí být dostatečně odolný proti poškrábání a poškození,
- dostatečná rozměrová přesnost jednotlivých dílů,
- použití pokud možno jednoduchých tvarů,
- automatizované pracoviště určeno pro obráběcí stroj HAAS ST-20Y o rozměrech 3 999 x 2 290 x 2 210 [mm],
- maximální možný rozměr pracoviště ve výrobní hale 7 000 x 6 000 x 6 000 [mm].

## 2.3 Kritéria na výběr konceptu

Pro výběr ideálního konceptu jsem si musel předem zvolit kritéria, dle kterých jsem později vybíral ideální koncept automatizovaného pracoviště. Také jsem si stanovil ohodnocení splnění či nesplnění jednotlivých kritérií. Proto jsem vytvořil stupnici od 1 do 10, kdy hodnota 1 je nejlepší a hodnota 10 je nejhorší. Kritéria pro výběr ideálního konceptu automatizovaného pracoviště jsou následující:

- počet polotovarů na válečkovém dopravníku,
- počet obrobků na výstupním prvku,
- celkový počet jednotlivých částí pracoviště,
- předpokládaný čas jednoho výrobního cyklu,
- předpokládaná životnost,
- složitost naprogramování,
- kvalita očištění obrobku,
- velikost zastavěné plochy,
- předpokládaná celková cena pracoviště.

## 2.4 Transformační proces – černá skříňka

Návrh (transformačního) procesu černé skříňky je pouze s vstupy a výstupy (viz obrázek 2.1).



Obrázek 2.1 - Černá skříňka



## 2.5 Technický proces

Robotizované pracoviště musí splnit následující funkce:

- a) zajistit pevné upevnění a ustavení všech konstrukčních uzlů pracoviště se základem,
- b) zajistit pevné ustavení robota,
- c) zajistit, aby se polotovary vlivem gravitace posouvaly na koncovou polohu dopravníku,
- d) zajistit naplnění dopravníku polotovary,
- e) zajistit uvolnění polotovaru v konečné pozici od tíhy ostatní polotovarů,
- f) zajistit, aby polotovary nesjely z dopravníku,
- g) umožnit přemístění polotovarů z jednotlivých konstrukčních uzlů,
- h) umožnit přeuchopení odlitku/obrobku,
- i) zajistit dostatečné očištění otvoru obrobku pro následné uchopení, (vzduchem, mechanicky, kartáčem, ručně),
- j) zajistit kompletní očištění obrobku,
- k) zajistit zachycení chladicí kapaliny a jiných nečistot při čištění,
- l) zajistit uložení hotových obrobků na přepravní výstupní prvek,
- m) zajistit přesnou polohu a ustavení přepravního prvku,
- n) zajistit bezpečnost automatizovaného pracoviště vzhledem k obsluze.

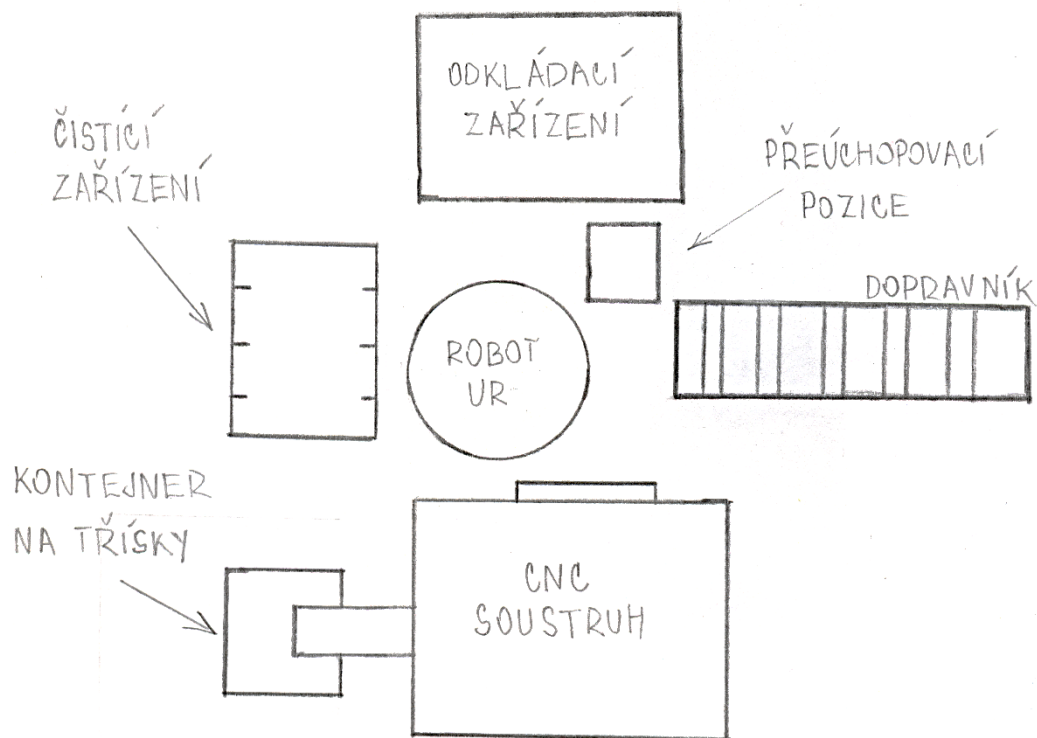
## 2.6 Morfologická matice

Jedním z dalších kroků této teoretické části, bylo zjistit nejvhodnější variantu návrhu automatizovaného pracoviště. Vytvořil jsem přehlednou tabulku neboli morfologickou matici. Tato matice mi zobrazuje několik jednotlivých orgánů pro řešení dané funkce. Vybral jsem dvě různá řešení, která kombinují různé funkční principy. Morfologickou matici lze vidět na další straně v tabulce 1. Lze pozorovat, že řešení jsou si v některých ohledech dost podobná, avšak rozdíl je podstatný.

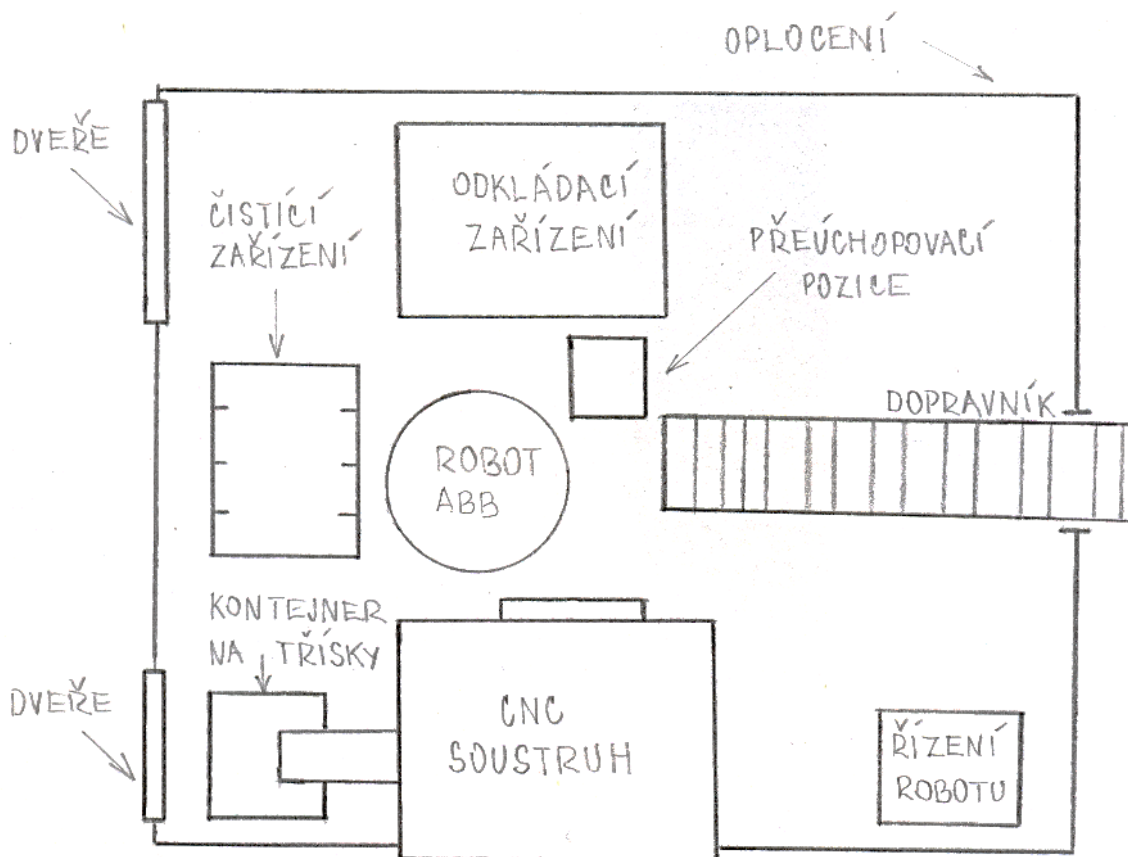
Tabulka 1 – Morfologická matice

FUNKCE	ORGÁNY - FUNKČNÍ PRINCIPY			
	1.	2.	3.	4.
Ukotvení jednotlivých konstrukčních uzlů ZAJISTIT	Na patkách a upevněno šrouby	Na patkách bez šroubů	Na kolečkách s brzdou	
Pevné uchycení robota ZAJISTIT	Na základu pomocí šroubů	Na stojanu pomocí šroubů	Položeno volně na základu	
Posun polotovarů na dopravníku ZAJISTIT	Pásový poháněný dopravník	Válečkový poháněný dopravník	Válečkový gravitační dopravník	Skloněná kluzná deska
Nesjetí polotovarů bokem z dopravníku ZAJISTIT	Boční vedení	Gumovaný pás	Neřešeno	
Přemístění polotovarů z jednotlivých konstrukčních uzlů UMOŽNIT	Standartní robot ABB	Kolaborativní robot UR		
Přeuchopení polotovaru UMOŽNIT	Otáčející mechanismus	Pevná deska	Ručně	
Očištění otvoru pro uchopení obrobku ZAJISTIT	Vzduchem	Mechanickým zařízením	Ručně	Neřešeno
Kompletní očištění obrobku ZAJISTIT	Vzduchem	Mechanickým zařízením	Ručně	Neřešeno
Zachycení kapaliny a nečistot při čištění ZAJISTIT	Odvod potrubím do CNC stroje	Nerezová nádoba	Plastová nádoba	
Uložení hotových obrobků ZAJISTIT	EURO paleta	Kovová bedna	Pásový poháněný dopravník	Válečkový poháněný dopravník
Bezpečnost pracoviště ZAJISTIT	Mechanické oplocení	Bez oplocení		

Pro ukázkou jsem tyto dvě varianty robotizovaného pracoviště jednoduše a schematicky znázornil. Návrhy pracoviště lze vidět na obrázcích. Návrh pracoviště A (viz obr. 2.2) a návrh pracoviště B (viz obr. 2.3).



Obrázek 2.2 - Varianta řešení A (žlutá)



Obrázek 2.3 - Varianta řešení B (červená)

## 2.7 Výběr nejlepší varianty řešení pracoviště

V závěru této teoretické části diplomové práce jsem si vybral nejlepší variantu pracoviště. Zhodnocení jsem provedl dle předem stanovených a určených kritérií. Hodnocení obou variant návrhů jsem zobrazil v tabulce č. 2. Nejlepší hodnocení pro dílčí funkční orgán je 1 a nejhorší je 10. Důležitý je celkový součet všech ohodnocených funkčních orgánů. Nižší celková hodnota je lepší. Všechny hodnoty jsem přehledně zapsal do tabulky 2.

Tabulka 2 - Výběr nejlepší varianty návrhu pracoviště

VÝBĚR NEJLEPŠÍ VARIANTY ŘEŠENÍ	PRACOVISTĚ	
	A	B
Počet polotovarů na dopravníku	2	2
Počet obrobků na výstupním prvku	1	1
Celkový počet jednotlivých částí pracoviště	3	4
Předpokládaný čas jednoho výrobního cyklu	5	4
Předpokládaná životnost	4	3
Složitost naprogramování	3	7
Kvalita očištění obrobku	3	3
Velikost zastavěné plochy	2	3
Předpokládaná celková cena pracoviště	5	7
VÝSLEDNÝ SOUČET VŠECH HODNOT	28	34
VÝSLEDNÉ POŘADÍ	1.	2.

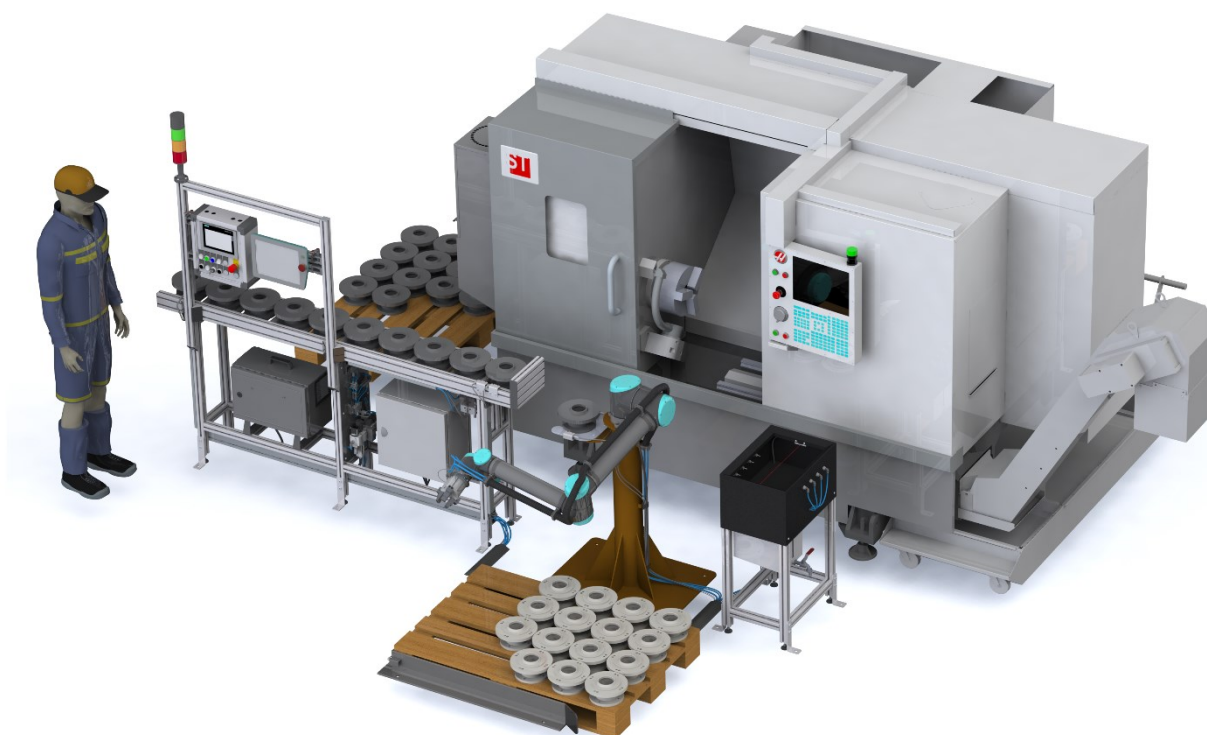
Vítězný návrh automatizovaného pracoviště je varianta A, a proto v další části práce vypracuji konstrukční 3D návrh a potřebnou výkresovou dokumentaci. Varianta A je návrh pracoviště s kolaborativním robotem UR. Tato varianta je především cenově dostupnější a UR robot je jednodušší na naprogramování.

### 3 Návrh automatizovaného pracoviště

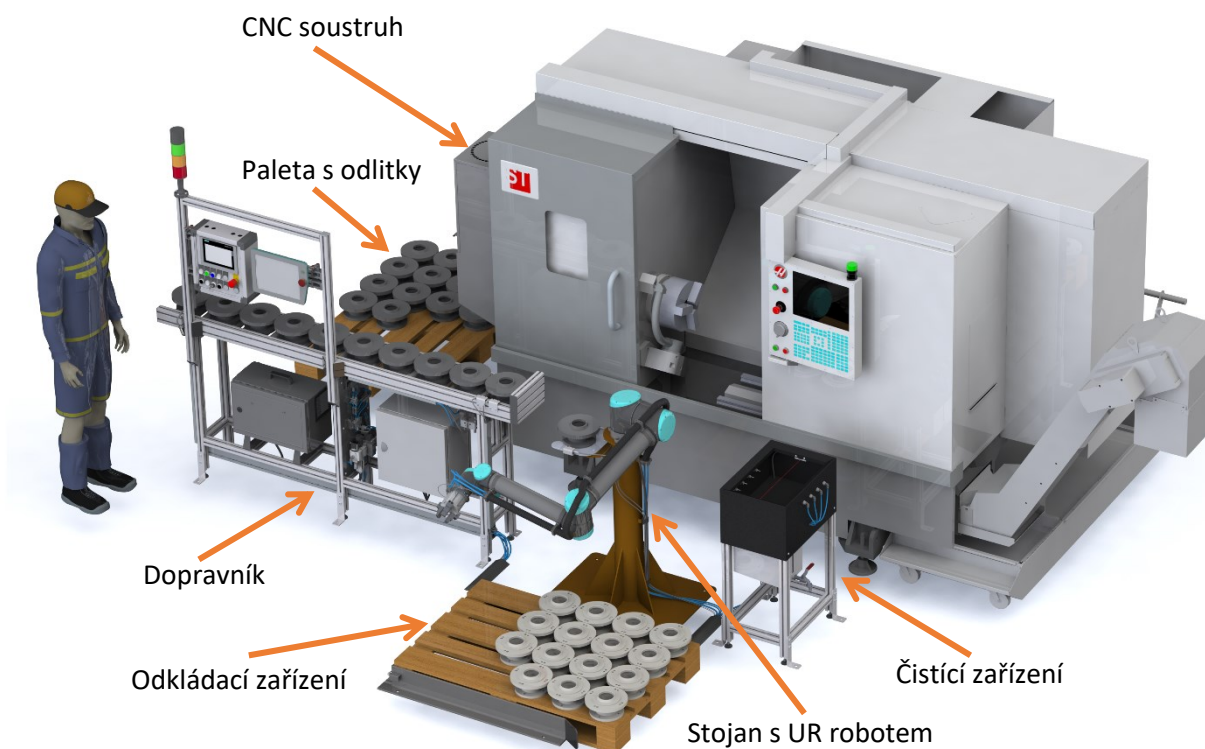
V této praktické části jsem vypracoval konstrukční návrh vítězné varianty automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh. Bylo nutné dodržet všechny funkce, parametry a zadání, které jsem popsal v druhé kapitole. Vše jsem navrhl v programu Solidworks 2015. V této kapitole jsou probrány a popsány všechny části pracoviště. Nejprve jsem zobrazil celkový pohled na hotové pracoviště. Následně jsem pracoviště rozdělil pro přehlednost do několika konstrukčních uzlů.

#### 3.1 Celkový návrh automatizovaného pracoviště

Nejprve jsem v praktické části zobrazil konečný návrh automatizovaného pracoviště, který lze vidět na obrázku 3.1. Na dalším obrázku 3.2 jsem toto pracoviště popsal a rozdělil do čtyř konstrukčních uzlů a to: dopravník, stojan s robotem, čistící zařízení a odkládací zařízení. Každý z těchto konstrukčních uzlů je ve své zvláštní podkapitole podrobně popsán a zobrazen.



Obrázek 3.1 – Celkový návrh automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh



Obrázek 3.2 – Automatizované pracoviště s popisem konstrukčních uzlů

### 3.2 Popis funkce automatizovaného pracoviště

Než jsem začal popisovat jednotlivé konstrukční uzly, bylo potřeba stručně nastínit princip fungování automatizovaného pracoviště. Celý pracovní cyklus začíná tím, že obsluha umístí z palety ocelové odlitky (výkres odlitku je v příloze F) na gravitační dopravník. Odlitky se vlivem gravitace shromažďují v pravé části dopravníku. Z tohoto místa jsou odebírány kolaborativním robotem UR10e od firmy Universal Robots. Odlitek je uchopen pomocí čelistí za vnitřní díru a umístěn do sklíčidla CNC soustruhu. Sklíčidlo má také speciální čelisti pro uchopení odlitku za vnitřní díru.

Jakmile se dokončí obrábění odlitku z přední strany, které trvá 23 minut, musí se odlitek obrobit i z druhé strany. Jelikož CNC soustruh nemá ve své výbavě protivřeteno, je potřeba odlitek otočit a upnout znovu do sklíčidla. Robot tedy uchopí odlitek čelistmi a umístí na přeuchopovací pozici, která je součástí stojanu na robota. Poté robot uchopí odlitek z druhé strany a vloží jej do sklíčidla CNC stroje. Obrobení zadní strany odlitku trvá 12 minut. Po tomto obrobení je již obráběný kus ložiskové příruby hotový.

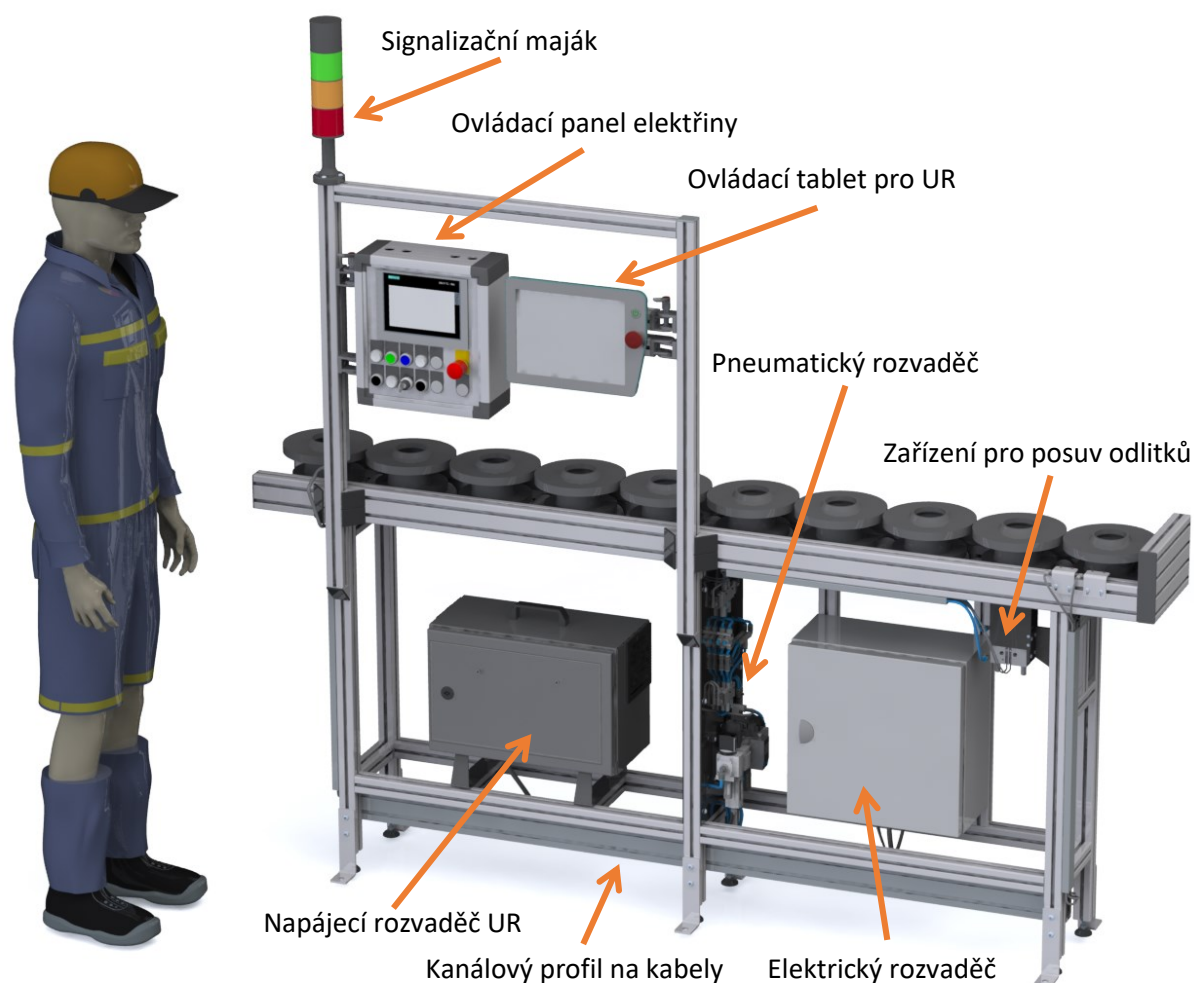
Obrobený kus robot uchopí a umístí do čistícího zařízení. V tomto zařízení dojde k očištění obrobku od řezné kapaliny a případných pozůstalých špon. Robot v tomto zařízení obrobkem pohybuje nahoru a dolů. Také se obrobek lehce a podle potřeby naklání. Čištění v tomto zařízení probíhá pomocí intenzivního proudění vzduchu. Řezná kapalina se odvádí do nerezové nádoby.

Jakmile je hotový kus čistý a suchý, tak je pomocí robotu umístěn na odkládací zařízení. Součástí tohoto zařízení je EURO paleta, na kterou jsou tyto obrobené kusy pokládány. Jakmile je paleta naplněna hotovými kusy, tak je obsluhou odvezena a vyměněna za novou.

Důležité je poznamenat to, že před každým uchopením odlitku, nebo obrobku je vnitřní díra ofoukána vzduchem a očištěna. Plocha díry pro uchopení čelistmi musí být vždy čistá.

### 3.3 Dopravník

Prvním konstrukčním uzlem je dopravník (viz obrázek 3.3), který neplní jen funkci dopravení odlitků na určité místo a polohu. Na dopravníku jsou umístěny všechny ovládací prvky celého automatizovaného pracoviště. Všechny konstrukční prvky jsou přichyceny na rámu dopravníku (viz kapitola 3.3.2). Dopravník také disponuje pneumatickým rozvaděčem, který zajišťuje správnou funkci všech pneumatických součástí (viz kapitola 3.3.2). Dalším důležitým prvkem celého dopravníku je zařízení pro posuv odlitků (viz kapitola 3.3.3).



Obrázek 3.3 – Dopravník



Dále dopravník obsahuje ovládací tablet a napájecí rozvaděč pro UR robota. Pomocí tabletu proškolená obsluha naprogramuje robota. Držák tabletu je navržen tak, aby bylo možné naklápět do stran. Programátor má také možnost ovládací tablet jednoduše vysunout z držáku pohybem nahoru. Poté se s ním může pohybovat po celém pracovišti. Napájecí rozvaděč zajišťuje dodávku elektrické energie a obsahuje potřebné řídicí prvky pro řízení robota. Rozvaděč je pomocí kabelů přímo spojen s ovládacím panelem a robotem.

Také se na dopravníku nachází ovládací panel Siemens KP700 Comfort [16] a rozvaděč elektřiny ETA ST4420 [17] pro celé automatizované pracoviště. Pomocí ovládacího panelu se řídí celé pracoviště. Ovládací panel je opět možné naklápět do stran, pro pohodlnější obsluhu. V rozvaděči se nachází potřebné elektrické a řídicí prvky pro ovládání a řízení všech čidel, senzorů a zařízení použitých na pracovišti. Ve výšce 1 800 [mm] jsem navrhl signalizační maják WERMA 649-000-02 [18]. Tento prvek informuje o tom, zda je pracoviště v provozu, nebo není. Ovládací tablet i ovládací panel jsou umístěny výškově, tak aby byla zajištěna bezproblémová a pohodlná obsluha.

Pro větší přehlednost jsem ještě rozdělil tento dopravník na několik jednotlivých konstrukčních částí. Konstrukce dopravníku, pneumatický rozvaděč a zařízení pro posuv odlitků. Pro dopravník jsem také zpracoval výkresovou dokumentaci, kterou si lze prohlédnout v příloze B.

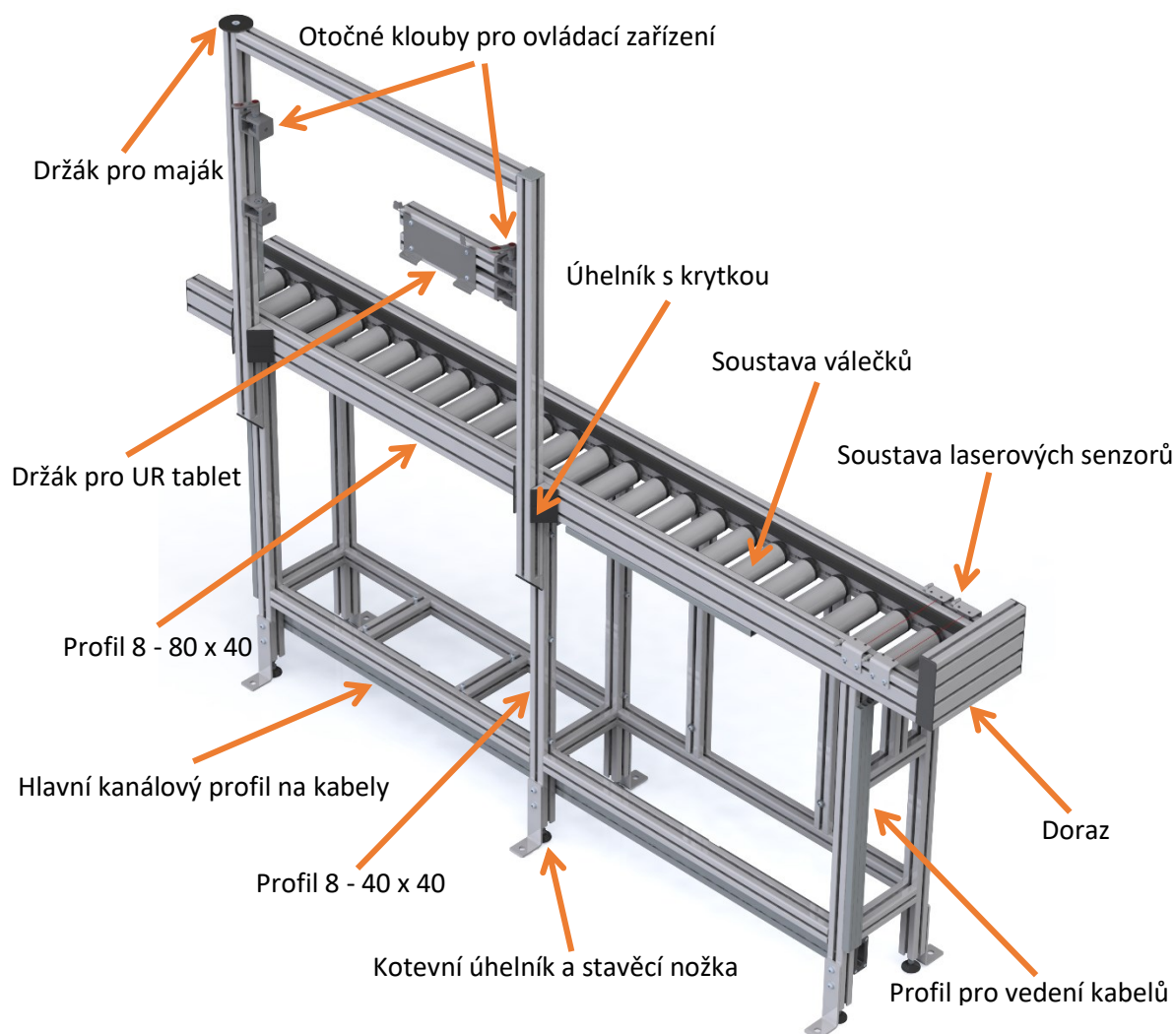
### 3.3.1 Rám dopravníku

Rám dopravníku je vidět na obrázku 3.4. Tato konstrukce musí zajistit dostatečnou tuhost a pevnost celého dopravníku, a proto jsem rám dopravníku navrhl ze stavebnicového systému hliníkových profilů ITEM. Stavebnicový systém jsem zvolil z důvodu jednoduché a rychlé montáže. Všechny profily lze jednoduše nařezat na potřebné délky. Mezi další výhody patří také široký sortiment prvků, které lze spojit s tímto stavebnicovým systémem. Všechny níže uvedené prvky jsem čerpal z oficiálního knižního katalogu ITEM MB Systembaukasten [6].

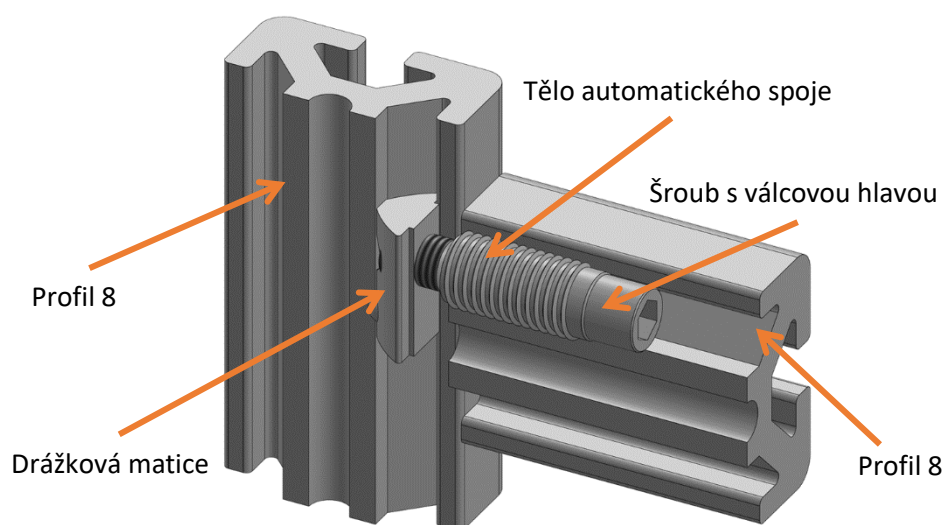
Konstrukci dopravníku jsem navrhl ze dvou typů profilů a to, Profil 8 - 40 x 40 (0.0.026.03) a Profil 8 - 80 x 40 (0.0.026.04). Všechny profily jsou spojeny pomocí Automatického spoje 8 (0.0.388.08). Vždy se spojuje jeden profil k druhému profilu. Tento spoj vydrží vysoké zatížení v posuvu, krutu i ohybu. Tento spoj se montuje tak, že nejprve se ocelové tělo spoje zašroubuje do drážky jednoho profilu, přičemž se také nařeže závit. Následně se umístí drážkovaná ocelová matice do drážky druhého profilu. Nakonec se tělem automatického spoje prostrčí šroub a utáhne se o drážkovanou matici. Tento automatický spoj jsem zobrazil na obrázku 3.5.



Spojení ostatních prvků (úchyty pro čidla, pneumatický rozvaděč, a další...) k rámu je spojeno pomocí Drážkové matice 8 - St M6 (0.0.026.23) a Šroubu M6 x 14 (0.0.417.26).



Obrázek 3.4 – Hliníková konstrukce dopravníku



Obrázek 3.5 – ITEM Automatický spoj [19]

Svislé hliníkové profily jsou upevněny na Stavěcích nožkách D40 - M8 x 60 (0.0.364.68) s plastovou podstavou. Každá stavěcí nožka lze výškově nastavit pomocí závitové tyče. Podstava nožky zvládne 15 stupňů naklonění díky kulovému kloubu. Tento prvek je velmi důležitý pro samotnou funkci dopravníku. Aby dopravník správně fungoval, musí se stavěcí nožky seřídít tak, aby se odlitky po dopravníku vlivem gravitace samy dopravily do koncové polohy. Sklon dopravníku nesmí být ovšem zase příliš velký, protože by docházelo k velkým rychlostem odlitků a také silným nárazům na doraz. Sklon dopravníku se nastaví při montáži a instalaci dopravníku u zákazníka.

Hned vedle kotvicích nožek jsem navrhl Úhelník kotevní 8 - 160 x 60 x 40 St (0.0.666.50) a to z důvodu stabilizace dopravníku. Dopravník je relativně vysoký a úzký a mohlo by dojít k převrácení. Kotevní úhelník je k rámu připevněn pomocí šroubů a drážkových matic umístěných v profilu. Do základu pracoviště je úhelník připevněn taktéž pomocí šroubů.

Pro ovládací panely elektřiny a UR robota jsem navrhl jednoduchou konstrukci obdélníkového tvaru. Použil jsem již zmíněný Profil 8 - 40 x 40 (0.0.026.03). Všechny koncové plochy hliníkových profilů jsou opatřeny plastovou Krytkou 8 - 40 x 40 (0.0.627.16), tak aby se minimalizovalo riziko možného poranění obsluhy. Tato konstrukce je přichycena pomocí několika Úhelníků 8 - 40 x 40 (0.0.411.15). Ovládací prvky pracoviště jsou otočné ve vodorovném směru. K tomuto účelu jsem navrhl Kloub s aretační páčkou 8 - 40 x 40 (0.0.373.93) a Kloub 8 - 40 x 40 (0.0.265.31). Ovládací tablet UR robota lze vyjmout z držáku, který je upevněn na hliníkové konstrukci. Obsluha se může poté s tímto ovládacím prvkem pohybovat po celém pracovišti.

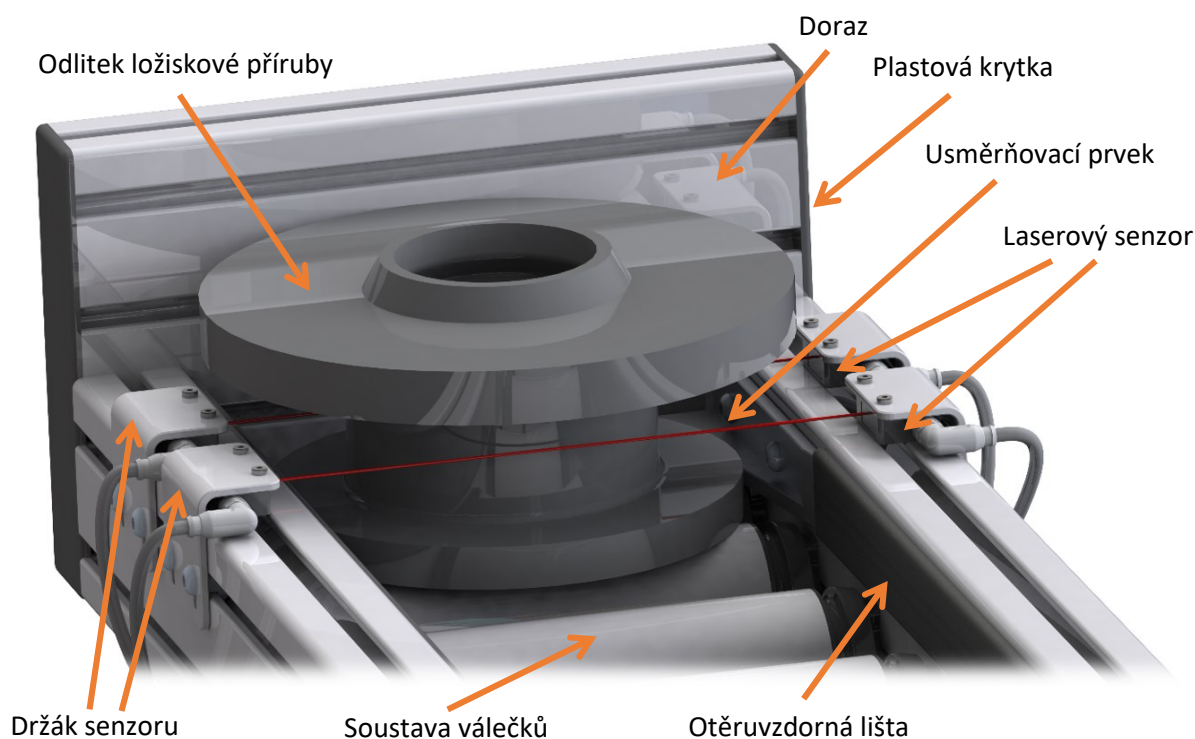
Odlitek ložiskové příruby do koncové polohy dopraví soustava 25 válečků. Všechny válečky se volně otáčejí a odlitek se dopraví do konečné polohy vlivem své vlastní váhy. Proto musí být dopravník nakloněn o několik stupňů. Toto naklonění se uskuteční pomocí stavěcích nožek. Váleček jsem navrhl hliníkový o průměru 50 [mm] a skládá se ze dvou částí, TR50 Ložisková sada (0.0.422.63) a Trubka D50 Al (0.0.416.03). Středky válečků jsou od sebe ve vzdálenosti 80 [mm] a jsou vloženy do Drážkovaného profilu 8 - Al M8 - 40 (0.0.427.72). Dopravník je dimenzován na 10 kusů odlitků. Obsluha pracoviště doplní dopravník vždy na začátku směny a tento počet kusů pak vydrží celou pracovní dobu.

Odlitek příruby se pohybuje po válečcích do koncové polohy dopravníku. Aby nedošlo k poškození vnitřní stěny profilu dopravníku, jsou zde umístěny Otěruvzdorné lišty 8 ESD (0.0.457.99), které jsou z materiálu PE-UHMW. Tento materiál se vyznačuje vysokou odolností proti otěru a opotřebení. Otěruvzdorné lišty jsou zacvaknuty do drážky hliníkového profilu.

Držák majáku slouží k uchycení majáku k hliníkové konstrukci. Maják je k tomuto ocelovému držáku uchycen pomocí čtyř šroubů M6 x 16 (8.0.000.63).

Do této kapitoly rám dopravníku jsem také zařadil konstrukční řešení koncové polohy odlitku v dopravníku. Tento detail jsem zobrazil na obrázku 3.6.

Doraz pro odlitky jsem navrhl z Profilu 8 - 160 x 40 (0.0.265.23). Každý odlitek se na konci dopravníku zastaví o doraz. Ostré hrany hliníkového dorazu jsou opatřeny plastovými Krytkami 8 – 160 x 40 (0.0.627.30). Pomocí usměrňovacího prvku se odlitek umístí vždy do stejné polohy, tak aby poté mohl robot s čelistmi bezproblémově uchopit odlitek. Robot je naprogramovaný, aby vykonal pohyb do určité polohy a uchopil odlitek. Pokud by odlitek neměl pokaždé stejnou polohu, mohlo by hrozit, že čelisti robota neuchopí odlitek správně. Usměrňovací prvek jde nastavit výškově i délkově a toto nastavení se provede při instalaci automatizovaného pracoviště, tak aby vše správně fungovalo. Usměrňovací prvek je uchycen pomocí šroubů M6 x 12 (8.0.002.40) a drážkové matice.



Obrázek 3.6 – Detailní pohled na koncovou polohu odlitku v dopravníku

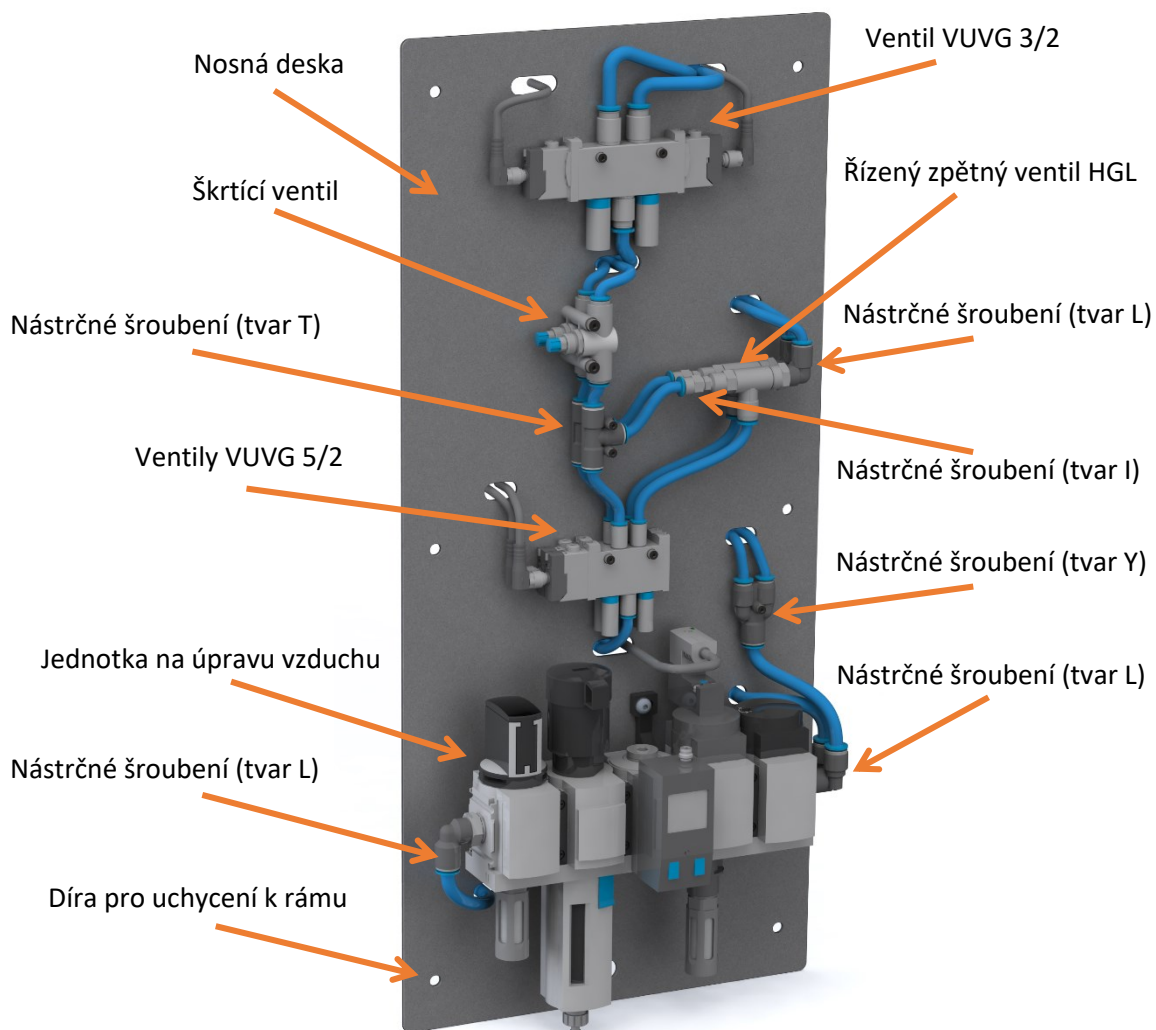
Pro úplnou automatizaci a správnou funkci pracoviště, jsem musel navrhnout vhodné senzory pro indikaci, zda je odlitek v koncové poloze. Jestliže odlitek není v koncové poloze, nebo došla zásoba odlitků na dopravníku, tak UR robot neuchopí kus. Jakmile je odlitek v koncové poloze, tak robot uchopí odlitek do čelistí a vloží do sklíčidla CNC soustruhu. Navrhl jsem laserové senzory SICK WS/WE100L-F2131 [20]. Senzor funguje jako jednocestná světelná závora s viditelným červeným světlem. Navrhl jsem dva páry senzorů, kde první pár blíže k dorazu detekuje samotnou přítomnost odlitku v koncové části dopravníku. Druhý pár senzorů detekuje, zda je odlitek v koncové poloze. Aby mohl robot uchopit odlitek, musí dojít u prvního páru senzorů k přerušení paprsku. U druhého páru

naopak k přerušení paprsku dojít nesmí. Všechny senzory jsou přichyceny k hliníkovému držáku, který je možné výškově a délkově posouvat.

Pro bezpečné vedení všech druhů kabelů a pneumatických hadiček jsem ve spodní části dopravníku navrhl Kanálový profil U – 80 x 40 - D80 K (0.0.647.89) a Krycí profil D80 - K (0.0.647.91). Tento kanál pro kabely má z obou stran Kanálovou krytku s průchodkou 80 x 40 (0.0.672.01). Pro vzdálenější prvky, jako jsou například laserové senzory, nebo ovládací panel elektra, jsem navrhl Profil pro vedení kabelů 8 – 40 x 16 (0.0.654.44). Tento profil z ohebného PVC materiálu zajistí vedení a ochranu kabelů a hadiček z různých míst dopravníku do hlavního kanálového profilu.

### 3.3.2 Pneumatický rozvaděč

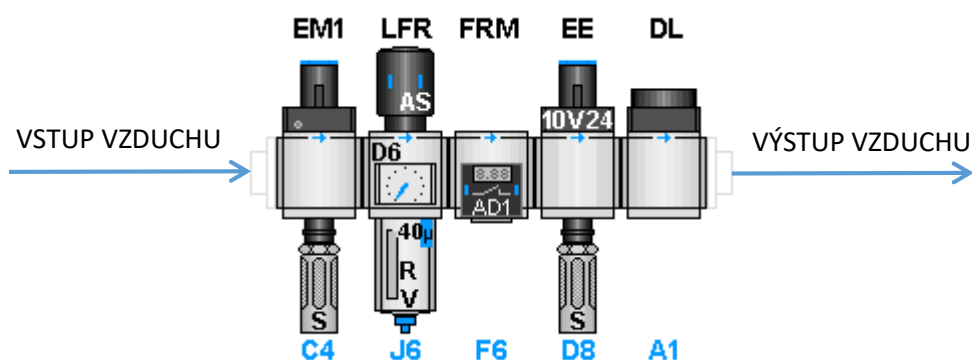
V automatizovaném pracovišti jsem použil několik pneumatických pohonů a pneumatických zařízení. Proto jsem musel navrhnout pneumatický rozvaděč, kde jsou umístěny různé pneumatické prvky, tak aby vše správně fungovalo. Rozvaděč jsem zobrazil na obrázku 3.7.



Obrázek 3.7 – Pneumatický rozvaděč

Všechny pneumatické prvky jsou umístěné na nosné desce. Tyto prvky jsem navrhl od společnosti FESTO a pro níže uvedené prvky jsem používal online katalog FESTO [21]. Deska je z ocelového plechu a prvky jsou k ní přichyceny pomocí šroubů. V desce je také několik drážkových otvorů, které slouží pro odvod elektrických kabelů a pneumatických hadiček. Nosná deska je uchycená k rámu dopravníku pomocí šroubů a drážkových matic. Výkres pneumatického schématu lze najít v příloze H.

Základním prvkem pneumatického rozvaděče je jednotka na úpravu stlačeného vzduchu FESTO MSB4-1/4-C4-J6-F6-D8-A1-WP [22]. Tu jsem zobrazil na obrázku 3.7, ale také je podrobně zobrazena na obrázku 3.8. Jednotka se skládá z pěti částí, které jsou spojeny. Všechny části jsou upevněny na MSB baterii a ta je šrouby M5 x 10 (8.0.000.06) připevněna na nosnou desku. Směr proudění vzduchu je zleva doprava.



Obrázek 3.8 – Jednotka na úpravu stlačeného vzduchu FESTO [23]

Prvním prvkem je ruční spínací ventil EM1 s tlumičem vzduchu. Tímto prvkem mechanicky zapínám a vypínám celou jednotku na úpravu vzduchu. Druhý prvek je LFR redukční ventil s filtrem. V tomto prvku se nastavuje požadovaný provozní tlak. Jemnost filtrace jsem navrhl 40 [µm]. Také je v tomto prvku manometr na zobrazení pracovního tlaku. Třetí prvek je rozbočovací modul FRD s manometrem AD1 a čidlem tlaku s LCD displejem. Tento prvek hlídá pracovní tlak. Jakmile tlak klesne pod určitou úroveň, tak jednotka na úpravu stlačeného vzduchu přestane pracovat. Čtvrtý prvek je spínací elektrický ventil EE s tlumičem hluku. Poslední pátý prvek je DL ventil s pomalým náběhem tlaku. Tento prvek naplňuje pneumatický obvod tlakem pomalu, a proto nedochází k velkým rázům v pneumatických prvcích.

Pro čistící zařízení a ofukovací trysku na UR robotu jsem navrhl 3/2 ventil VUVG-L14-T32C-AT-Q8-U-1R8L-N4 [24]. Pro tříbodové chapadlo, které je na UR robotu, jsem navrhl 5/2 ventil VUVG-L10-M52-RT-Q6H-U-1R8L-N4 [24]. Tento typ ventilu jsem také zvolil pro pneumatický válec použitý v zařízení pro posun odlitků. Tyhle dva ventily jsou uspořádány sendvičově na sobě.

Pro správnou funkci 5/2 ventilů VUVG jsem navrhl jednosměrný škrťací ventil GR-QS-6 [25] a řízený zpětný ventil HGL-1-8-QS-6 [26]. Škrťací ventil reguluje rychlost pístu pneumatického pohonu, které se provádí pomocí škrce protékajícího stlačeného vzduchu ventilem. Velikost škrce se nastavuje pomocí drážkovaného šroubu. Řízený zpětný ventil jsem navrhl především z bezpečnostních důvodů. Vypadne-li elektrický proud, pak by došlo k poklesu tlaku v pneumatickém obvodu. Pokud by tříbodové chapadlo mělo uchopený odlitek, tak by hrozilo, že vypadne a může někoho zranit. Řízený zpětný ventil zabrání odvětrání pneumatické větve, pokud není přiváděn řídicí signál, což je samotný stlačený vzduch proudící od jednotky na úpravu vzduchu.

Některé pneumatické prvky jsou již s výstupem pro požadovaný průměr hadice, ale u zbylých prvků jsem musel navrhnout správné nástrčné šroubení, abych spojil jednotlivé prvky s pneumatickými hadicemi. Nástrčné šroubení jsem volil standartní řady QS [27] a navrhl jsem jich hned několik typů. Na vstupu do jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu jsem použil nástrčné šroubení tvar L a typu QSL-G1/4-8 [27]. Na výstupu z jednotky jsem navrhl šroubení QSYL-G1/4-8 [27] s paralelním dvojitým výstupem pro hadice s tvarem L. Dále jsem použil šroubení QSY-8-6 [27], které rozdvouje vzduchové vedení. Šroubení QST-6 [27] tvaru T jsem navrhl před škrťacím ventilem. Na vstupu a výstupu řízeného zpětného ventilu jsem použil šroubení QSM-M5-6 [27] a QSLF-1/8-6-B [27].

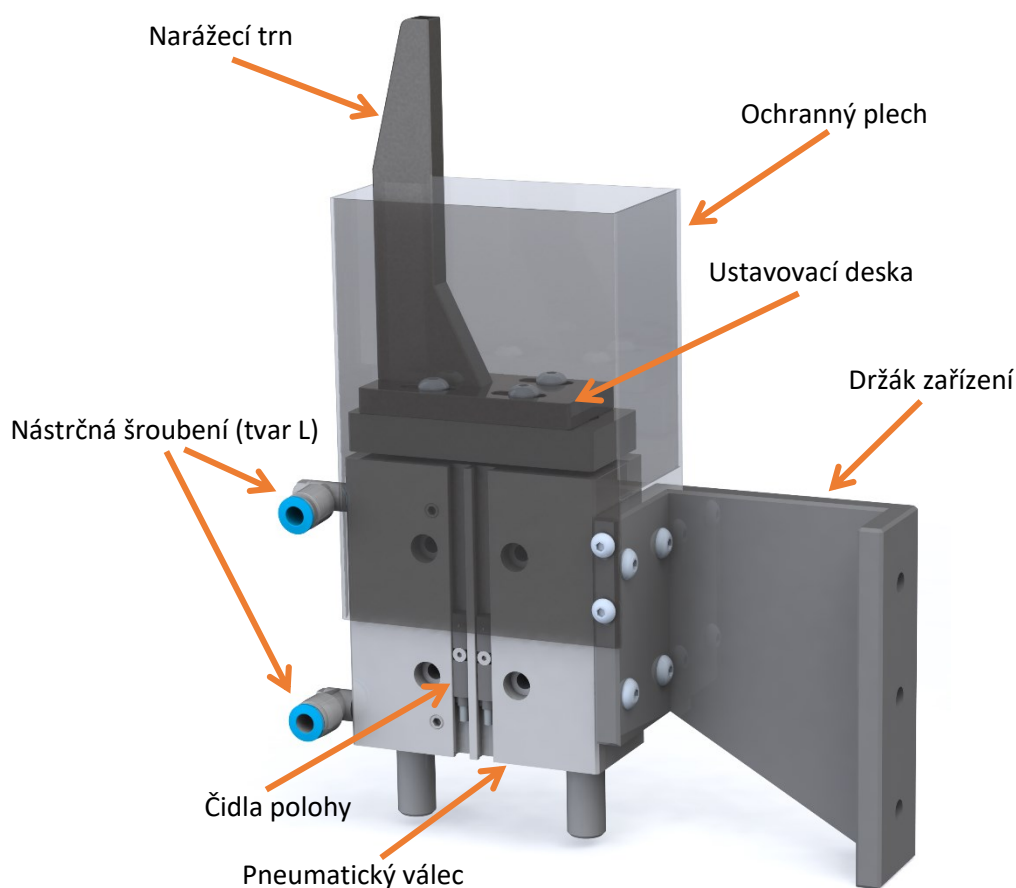
Pro vedení vzduchu jsem použil pneumatické hadice o vnějším průměru 6 a 8 [mm]. Hadice o menším průměru jsem navrhl pro vedení vzduchu do pneumatických válců a větší průměr pro vedení vzduchu do čistícího zařízení a pro ofukovací trysku na robotu UR.

### 3.3.3 Zařízení pro posuv odlitků

Poslední část dopravníku, kterou jsem ještě nepopsal je zařízení na posuv odlitků. Toto zařízení jsem zobrazil na obrázku 3.9.

Funkce zařízení je následující. V momentě, kdy je odlitek ložiskové příruby odebírán čelistmi UR robota, musí jít volně odebrat z gravitačního dopravníku. Odlitky jsou na dopravníku uspořádány za sebou a dotýkají se navzájem. Tedy na poslední odlitek působí síla všech ostatních odlitků. Proto jsem musel navrhnout takové zařízení, aby poslední odlitek byl uvolněn od síly ostatních odlitků. Toto zařízení před uchopením posledního odlitku vysune nahoru narážecí trn o 50 [mm] a posune zbývající odlitky dozadu o 10 [mm], směrem dále od dorazu. Po odebrání odlitku se narážecí trn zasune zpět dolů a celá řada odlitků se posune dopředu k dorazu. Trn zajíždí do velkého vnitřního otvoru v odlitku. Detailně jsem to ukázal na obrázku 3.10, kde je proveden řez dopravníkem se zobrazením funkce tohoto zařízení.



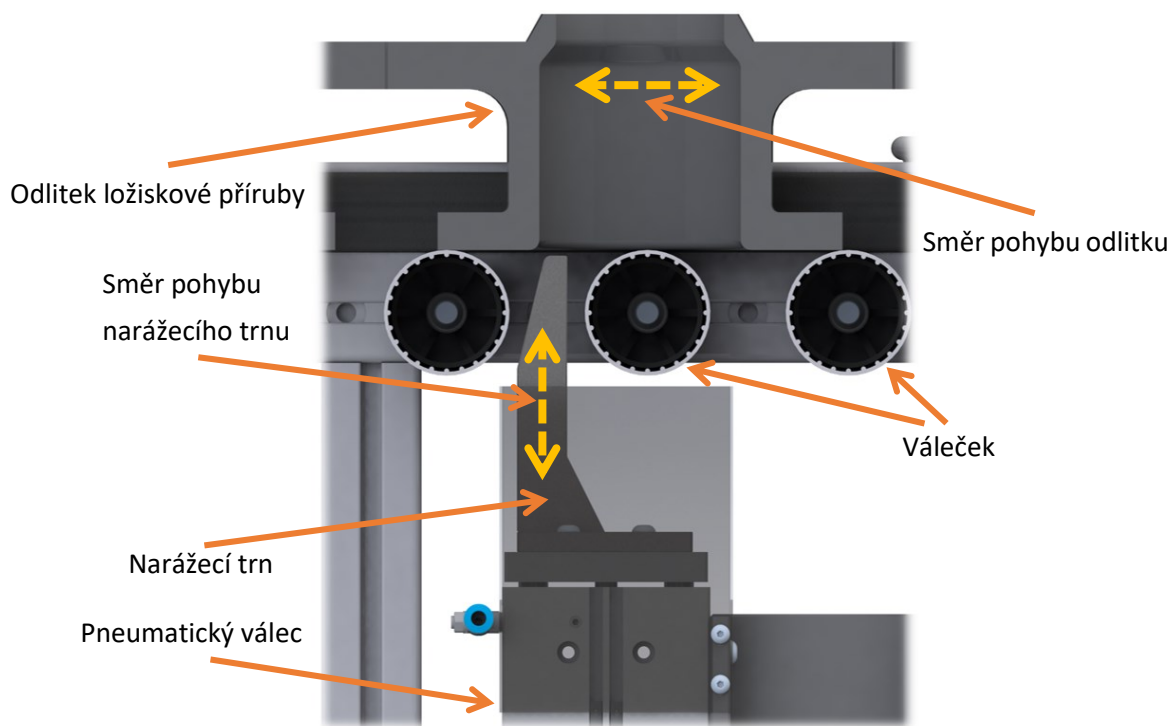


Obrázek 3.9 – Zařízení na posuv odlitků

Nosným prvkem zařízení je držák, který je svařen ze tří dílců. Na držák je uchycen z jedné strany na rám dopravníku pomocí šroubů M6 x 18 (8.0.002.45) a Drážkové matice 8 - St M6 (0.0.026.23). Z druhé strany je připevněn pneumatický válec s vedením pomocí šroubů M5 x 18 (8.0.002.25). Na tento držák je také ještě připevněn ochranný plech o tloušťce 1 [mm], který jsem zde navrhl z bezpečnostních důvodů. Od pneumatického válce zde vznikají velké síly a mohlo by dojít k poranění horních končetin obsluhy pracoviště.

K pneumatickému válci je upevněna ustavovací deska pomocí čtyř šroubů M5 x 18 (8.0.002.25). Trn je upevněn k desce pomocí dvou šroubů M4 x 20 (8.0.000.23). Ve spodní části nárazecího trnu jsou vyvrtány díry s vnitřními metrickými závity, pomocí kterých jsou přitaženy šrouby. Pro správné seřízení polohy trnu, jsem navrhl v ustavovací desce podélné drážky. Trn je zešíkmený o 14 [°] a prochází v mezeře mezi válečky dopravníků (viz obrázek 3.10).

K pneumatickému válci jsou připojeny nástrčná šroubení tvaru L a typu GRLA-M5-QS-6-D [27]. Aby pneumatický válec správně fungoval, musel jsem také navrhnout dvě přibližovací čidla SMT-8M-A-NS-24V-E-2-M8D [28]. Čidla jsou vsunuty do drážky válce.



Obrázek 3.10 – Detail zařízení pro posuv odlitků v řezu

Pneumatický válec s vedením jsem navrhl DFM-20-50-P-A-KF [29]. Tento válec jsem zvolil, protože má minimální nárok na prostor, hodně možností upevnění, vysokou tuhost a je bezúdržbový. Nejčastější užití těchto válců je v oblasti různých dopravníků. Důležité bylo zvolit správnou velikost pístu. Velikost pístu určuje velikost síly, kterou dokáže válec vyvinout ve svislém směru. Provedl jsem následující orientační výpočet.

Výpočet jsem vypracoval pro nejhorší možnou variantu, a to je maximální počet odlitků. Na dopravníku je 10 kusů odlitků a je potřeba zjistit velikost síly 9 kusů odlitků působící na nárazecí trn. Odlitek příruby nejbližší dopravníku nezapočítávám, neboť ten bude uchopen čelistmi UR robota. Váha jednoho odlitku je dle softwaru 7,53 [kg].

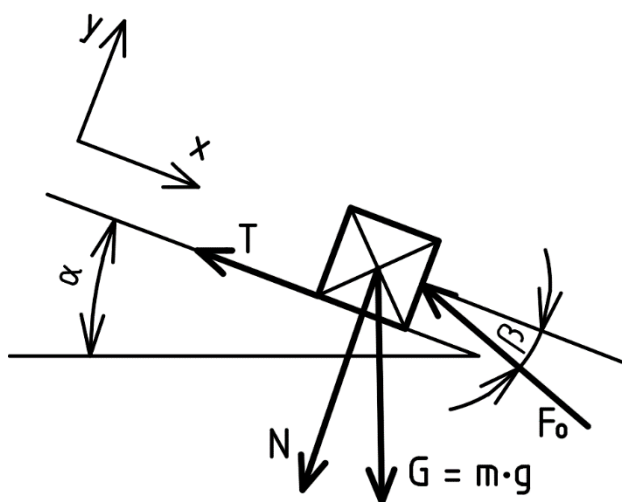
Výpočet celkové váhy 9 kusů odlitků:

$$\begin{aligned}
 m &= 9 \cdot m_o \text{ [kg]}, \\
 m &= 9 \cdot 7,53 \text{ [kg]}, \\
 \underline{m} &= \underline{67,77 \text{ [kg]}}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

kde  $m_o$  je hmotnost jednoho odlitku dle softwaru Solidworks 2015.

Pro výpočet síly  $F_o$ , která působí na trn, jsem uvažoval dopravník jako nakloněnou rovinu (viz obrázek 3.11). Výpočet je orientační a do výpočtu jsem nezahrnul třecí síly od ložisek válečků, třecí síly odlitků o stěny dopravníku apod.. Určení těchto třecích sil je problematické a navíc jsou třecí síly zanedbatelné. Součinitel tření  $f$  je tedy 0. Úhel naklonění dopravníku volím záměrně lehce vyšší a to 5 [°].





Obrázek 3.11 – Zjednodušené schéma č. 1 pro výpočet síly  $F_o$  působící na narážecí trn

Rovnice rovnováhy pro schéma č. 1:

$$\Sigma F_x: -F_o \cdot \cos \beta + G \cdot \sin \alpha - T = 0,$$

$$\Sigma F_y: -N - G \cdot \cos \alpha + F_o \cdot \sin \beta = 0,$$

$$\Sigma F_x: -F_o \cdot \cos \beta + m \cdot g \cdot \sin \alpha - N \cdot f = 0, \quad (2)$$

$$\Sigma F_y: -N - m \cdot g \cdot \cos \alpha + F_o \cdot \sin \beta = 0.$$

Výpočet potřebné síly  $F_o$  působící na narážecí trn:

$$F_o \cdot \cos \beta = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [N],$$

$$F_o = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{\cos \beta} \quad [N],$$

$$F_o = \frac{67,77 \cdot 9,81 \cdot \sin 5}{\cos 14} \quad [N], \quad (3)$$

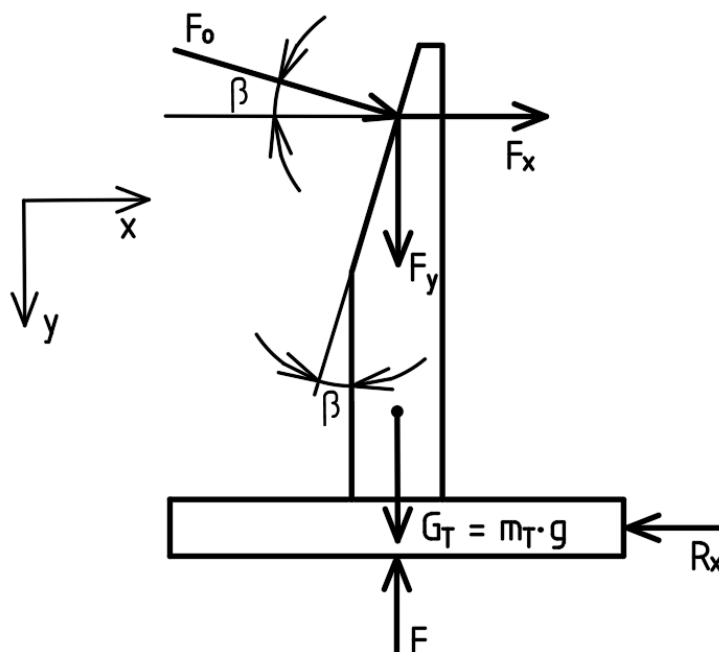
$$\underline{F_o = 59,72 \quad [N]},$$

kde  $g$  je konstanta gravitačního zrychlení,

$\alpha$  je úhel sklonění dopravníku,

$\beta$  je úhel zešíkmení narážecího trnu.

Pro výpočet síly  $F$ , která působí ve směru pohybu pístnice pneumatického válce, jsem vytvořil schéma č. 2, které lze vidět na obrázku 3.12. Úhel zešíkmení trnu  $\beta$  je  $14^\circ$ . Celková hmotnost trnu a ustavovací desky  $m_T$  je  $0,288 \text{ [kg]}$ . Sílu  $F_o$ , která působí od odlitků, jsem rozdělil do dvou složek  $F_x$  a  $F_y$ . Síla  $R_x$  znázorňuje sílu, která působí na pneumatický válec ve vodorovném směru. Tato síla je v opačném směru oproti složce síly  $F_x$ .



Obrázek 3.12 – Zjednodušené schéma č. 2 pro výpočet síly  $F_o$  působící na narážecí trn

Rovnice rovnováhy pro schéma č. 2:

$$\Sigma F_y: G_T + F_y - F = 0, \quad (4)$$

$$\Sigma F_x: F_x - R_x = 0.$$

Výpočet složky síly  $F_x$ :

$$F_x = F \cdot \sin \beta \text{ [N]},$$

$$F_x = 59,72 \cdot \sin 14 \text{ [N]}, \quad (5)$$

$$\underline{F_x = 57,95 \text{ [N]}.}$$

Výpočet složky síly  $F_y$ :

$$F_y = F \cdot \cos \beta \text{ [N]},$$

$$F_y = 59,72 \cdot \cos 14 \text{ [N]}, \quad (6)$$

$$\underline{F_y = 14,45 \text{ [N]}.}$$

Výpočet síly  $F$  působící na pneumatický válec ve svislém směru:

$$F = F_y + G_T \text{ [N]},$$

$$F = F_y + m_T \cdot g \text{ [N]}, \quad (7)$$

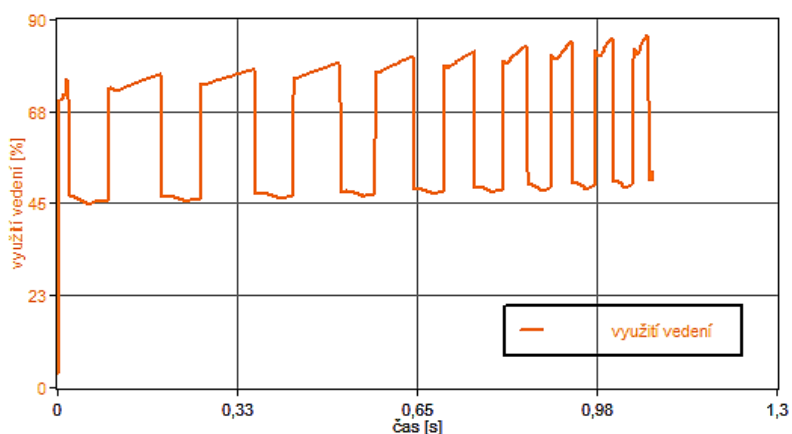
$$F = 14,45 + 0,288 \cdot 9,81 \text{ [N]},$$

$$\underline{F = 17,28 \text{ [N]}.}$$

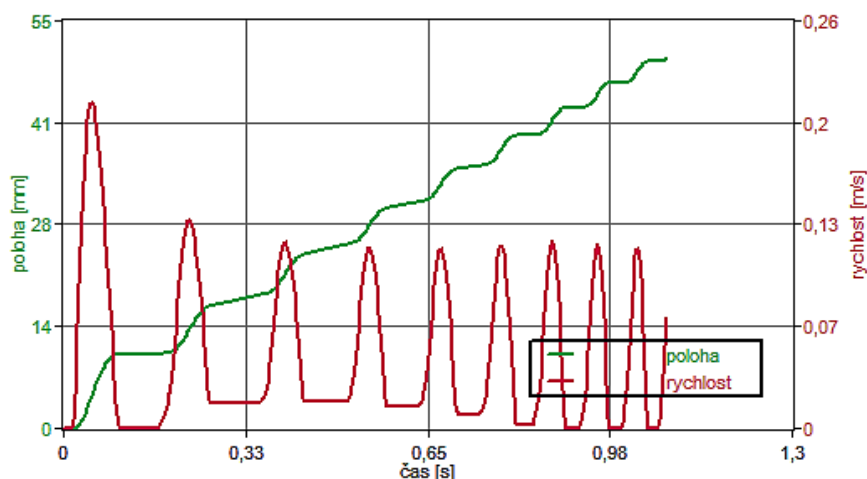
kde  $m_T$  je celková hmotnost nárazecího trnu, ustavovací desky a šroubů dle softwaru Solidworks 2015.

Z vypočtené síly  $F$  vyplývá to, že odlitky působí touto silou na pneumatický válec ve svislém směru. Aby zařízení správně fungovalo, musí pneumatický válec vyvinout větší sílu než  $F = 17,28$  [N]. Nyní jsem pro přesné určení válce použil online výpočtový software GSED [30] od společnosti FESTO. V tomto softwaru jsem vyplnil několik důležitých hodnot. Například zdvih válce, směr pohybu pístu, provozní tlak, přibližnou délku hadic, pohybovou hmotnost, čas přestavení válce a osově vzdálenosti ramen páky nárazecího trnu. Po zadání všech důležitých hodnot, program provede simulaci a zobrazí několik grafů. Tyto grafy jsem zobrazil na obrázku 3.13 a 3.14.

Z prvního grafu lze pozorovat využití vedení, pro navržený válec DFM-20-50-P-A-KF [28] v procentuální hodnotě. Lze pozorovat, že válec je zhruba na 85 [%] svého využití. Pro zajímavost jsem také vyzkoušel výpočet pro menší válec o průměru pístnice 16 [mm]. V tomto případě software upozorňoval na možné přetížení válce a dřívější opotřebení vedení kuličkových oběžných pouzder. Druhý graf je zde pro ukázkou rychlosti pístu v závislosti na čase a poloze. Závěrem lze tedy poznamenat, že navržený válec je lehce naddimenzovaný, neboť jsem záměrně počítal s větším nakloněním dopravníku.



Obrázek 3.13 – Výstup výpočtového programu FESTO GSED: Graf využití vedení



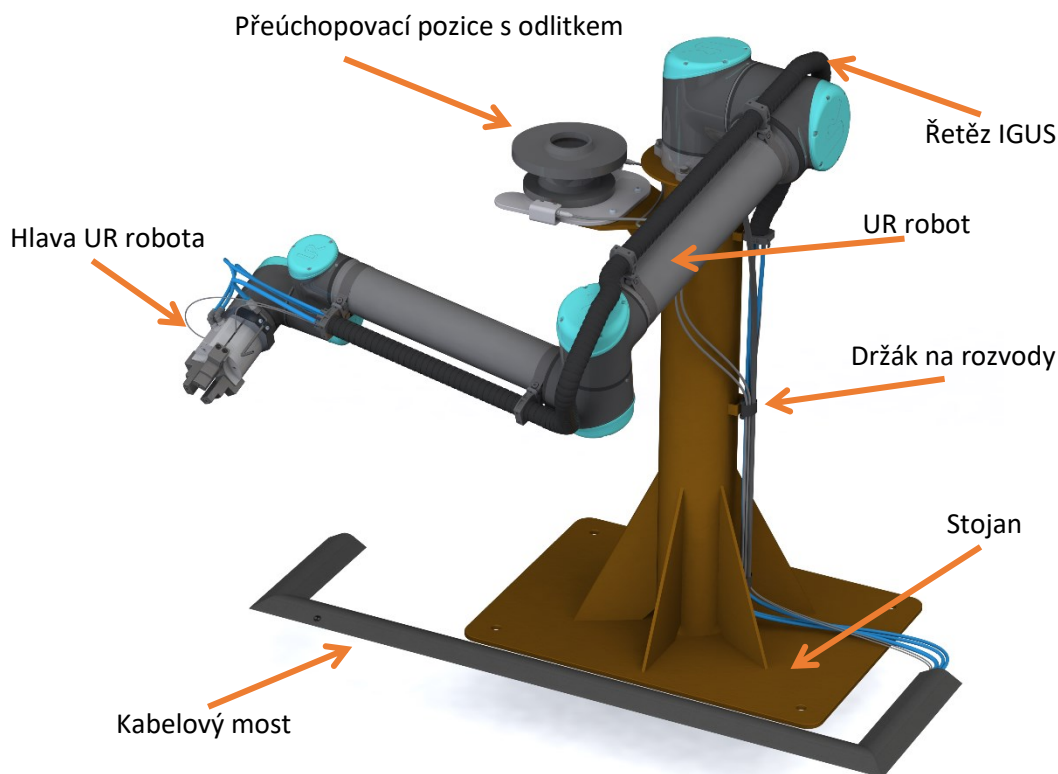
Obrázek 3.14 – Výstup výpočtového programu FESTO GSED: Graf poloha/čas/rychlost

### 3.4 Stojan s UR robotem

Druhý konstrukční uzel automatizovaného pracoviště jsem pojmenoval stojan s UR robotem. Tento uzel jsem ukázal a popsal na obrázku 3.15. Kvůli přehlednosti jsem rozdělil složitější části do podkapitol. UR robot je popsán v podkapitole 3.4.1, hlava UR robota v podkapitole 3.4.2 a přeučhupovací pozice je znázorněna v podkapitole 3.4.3.

Základním prvkem je stojan. Stojan je svařenec několika tlustých plechů různého tvaru a jedné silnostěnné trubky. Stojan je pevně ukotven do základu pomocí čtyř šroubů a musí být dostatečně tuhý, tak aby nebyla ovlivněna přesnost UR robota při vykonávání požadovaných pohybů. Pro vedení všech rozvodů jsou na trubku přivařeny malé U profily, na které jsou přišroubované ITEM Univerzální držáky rozvodů s upínací páskou 8 – 180 (0.0.627.90) [6]. Na trubku jsem také navrhl navařit desku a jedno žebro pro uchycení přeúchopovací pozice.

Pro vedení všech elektrických kabelů a hadic ze všech konstrukčních uzlů automatizovaného pracoviště, jsem navrhl kabelový most Vulcascot MCP 1 [31]. Tento prvek zajistí bezpečné krytí kabelů na podlaze pracoviště. Mohlo by se stát, že by obsluha šlápla na kabely a mohla je mechanicky poškodit. Kabelový most je z gumy a kabely jsou vedeny uvnitř v několika otvorech.

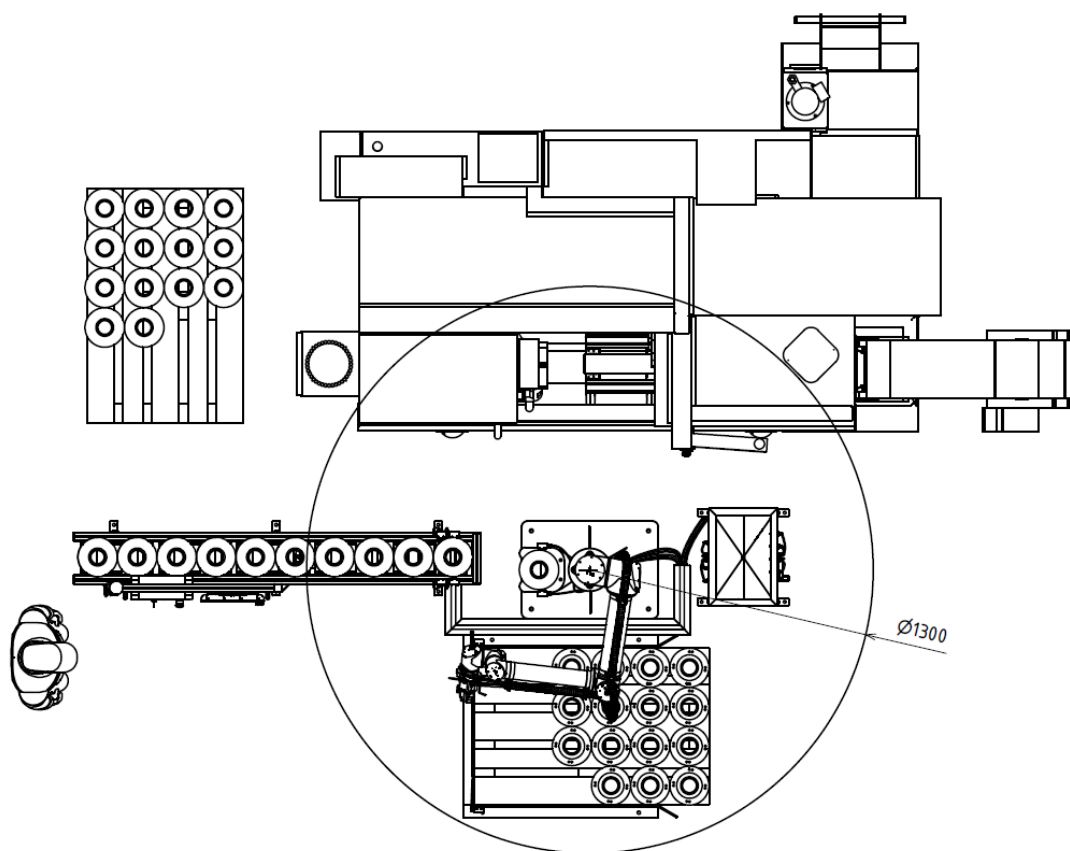


*Obrázek 3.15 – Stojan s UR robotem*

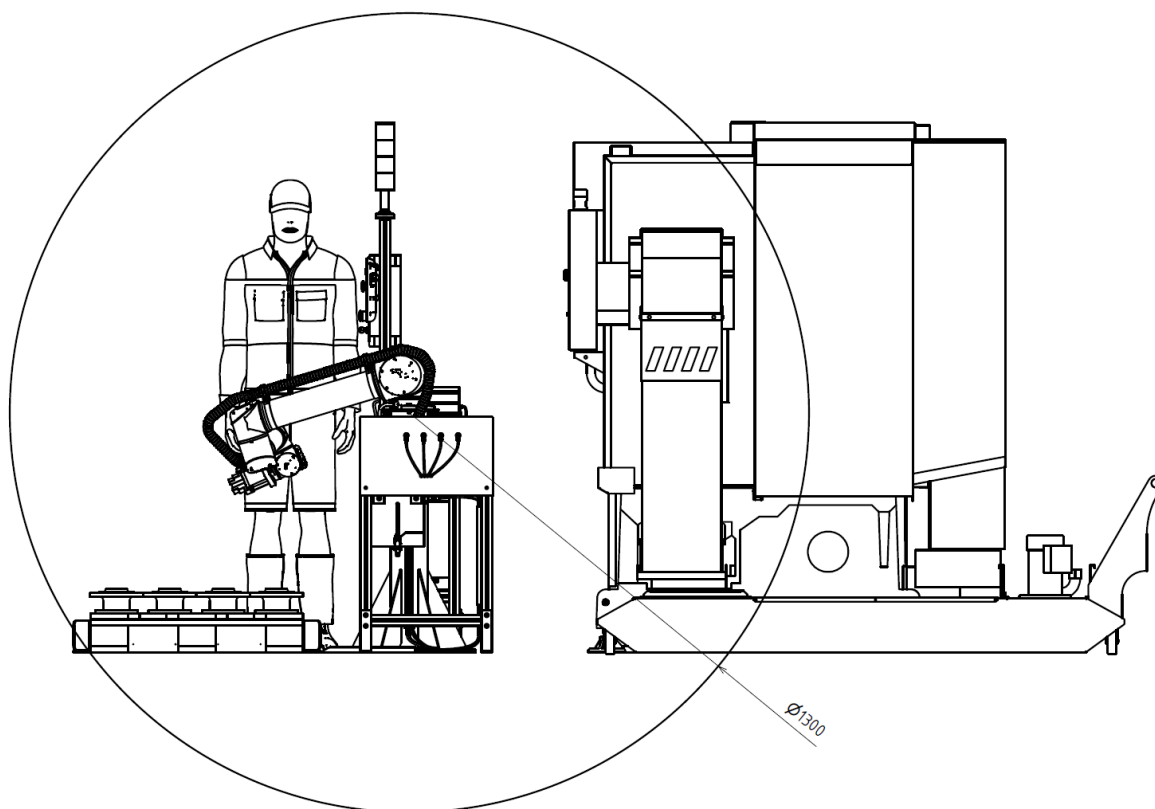
### 3.4.1 UR robot

Hlavní prvek celého automatizovaného pracoviště je robot. Výstupem teoretické části byl návrh, který disponoval robotem od firmy Universal Robots. Znázornění robota, i s jeho navazujícími prvky, jsem zobrazil na obrázku 3.15.

Nejprve jsem musel zvolit správný typ kolaborativního robota UR. Již v rešerši jsem zmínil, že firma Universal Robot má čtyři druhy robotů, které jsou navrženy dle manipulačního zatížení. Navrhnul jsem robot UR10e [32], který má maximální manipulační zatížení 10 [kg]. Robot při své práci bude manipulovat s odlitky o hmotnosti 7,53 [kg] a je tam ještě váhová rezerva pro prvky umístěné na ramenech robota. Další důležitý parametr je akční rádius, neboli pracovní prostor, kde dokáže robot pracovat. Ramena UR10e dokážou operovat v doporučeném poloměru 1 300 [mm] od středu ustavení robota [33]. Proto při samotném návrhu celého pracoviště, jsem musel zohlednit to, aby všechny pozice, kde bude robot pracovat, byly v tomto akčním rádiusu. Prostor, kde může robot pracovat, jsem zobrazil na obrázku č. 3.16 a 3.17. Důležité je, aby robot obsloužil první kus na dopravníku, sklíčidlo CNC soustruhu, přeúčhlopovací pozici, čistící zařízení a odkládací paletu. Bylo také nutné nechat průchod pro obsluhu mezi CNC soustruhem a dalšími zařízeními. Proto je soustruh ve větší vzdálenosti od stojanu.



Obrázek 3.16 – Pracovní rozsah robota UR10e v půdorysu



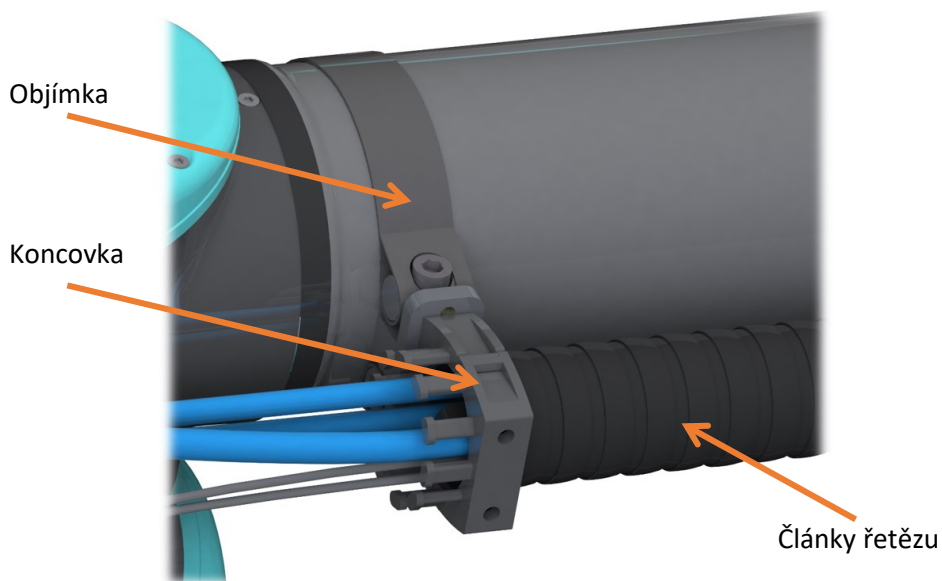
Obrázek 3.17 – Pracovní rozsah robotu UR10e v bokorysu

UR10e je kolaborativní typ robotu a nebylo potřeba navrhnout oplocení. Tento robotický pomocník dokáže spolupracovat s lidmi, ale jen při kolaborativním režimu robota. To znamená, že rychlost ramen je snížena na 250 [mm/s].

Robot je ke stojanu připevněn pomocí čtyř šroubů M8 x 30 (ITEM 8.0.000.09) [6], podložek 9,3 - DIN 6905 a matic M8 – DIN EN 24 032. Šrouby musí být dle doporučení výrobce a manuálu [36] dotaženy na 20 [N · m].

Řetěz IGUS Triflex R série TRC.30 [34] jsem navrhl pro vedení rozvodů na UR robotu. Bez tohoto řetězu by se pneumatické hadice a elektrické kabely volně pohybovaly podél ramen a kloubů robota. Hrozilo by zamotání a v horším případě mechanické poškození vedení. Řetěz se skládá z mnoha článků, které se zacvaknou do sebe díky systému kulových kloubů. Je tak možné vytvořit libovolně dlouhý řetěz. Mezi přednosti IGUS řetězu patří snadná instalace, pohyblivost článků ve více osách, malé poloměry ohybu, velmi dobrá mechanická odolnost, dlouhá životnost a velký prostor pro vedení rozvodů. Všechny kabely a hadice jsou vedeny uvnitř řetězu. Tento systém Triflex R je speciálně navržený pro robotické aplikace a běžně se používá pro téměř všechny druhy robotů. Řetěz se skládá z článků IGUS TRC.30.050.0 [34], které mají uzavřenou konstrukci. Na začátku a konci řetězu je standardní koncovka s odlehčením tahu IGUS TL.30.01.Z1 [34]. Jedna koncovka je na stojanu a druhá v blízkosti hlavy UR robota. K navrženému UR robotu je řetěz na menším průměru ramena přichycen pomocí objímky s koncovkou IGUS

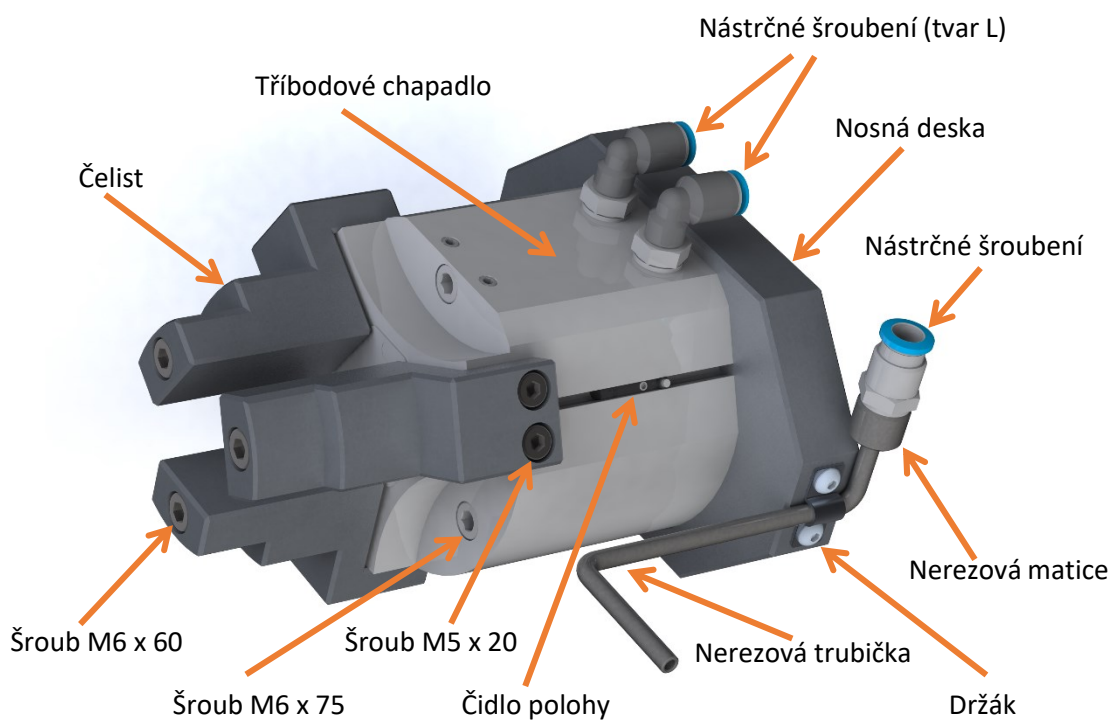
TR.911.965.086.Z0 [34]. Detailně jsem to zobrazil na obrázku 3.18. Na větším průměru jsem navrhl podobnou sadu IGUS TR.911.965.108.Z0 [34].



Obrázek 3.18 – Detail řetězu IGUS a objímky s koncovkou s odlehčením tahu

### 3.4.2 Hlava UR robota

Na posledním kloubu UR robota je připevněna takzvaná hlava, která je zobrazena a popsána na obrázku 3.19.

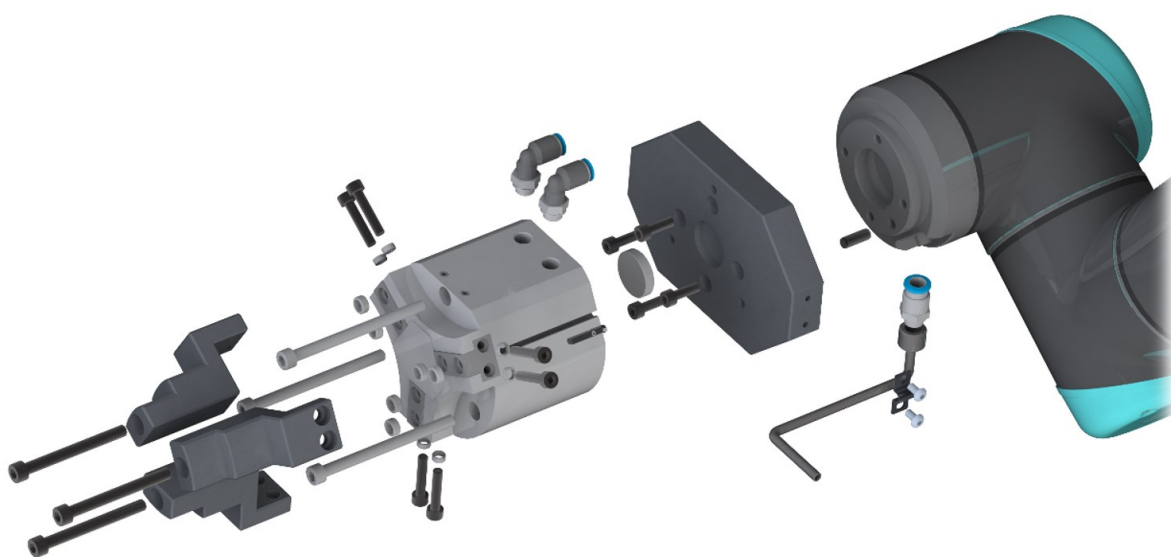


Obrázek 3.19 – Hlava UR robota

Tento konstrukční prvek má dvě hlavní funkce. První funkce je spolehlivé uchopení odlitku, nebo obrobku. To mi zajišťuje pneumatický válec – tříbodové chapadlo FESTO HGDT-50-A-G1 [35] a tři hliníkové čelisti. Odlitky/obrobky jsou vždy uchopeny za vnitřní díru. Při uchopování se tři čelisti rozevírají tak dlouho, dokud dostatečně pevně neuchopí kus. Průměry vnitřních děr z čela a ze zadní strany odlitku/obrobku nejsou stejné. Proto jsem musel navrhnout dvoustupňové čelisti. Nižší stupeň čelistí se upíná za díru z čela a druhý stupeň díru ze zadní strany odlitku/obrobku. Při obrábění v CNC soustruhu jsou vnitřní díry zvětšeny o 3 [mm]. Proto jsem musel zvolit dostatečný zdvih tříbodového chapadla. Zdvih jsem zvolil 8 [mm].

Druhá funkce hlavy UR robota je dostatečné vzduchové očištění uchopovacích ploch vnitřní díry kusu. Po obrábění můžou zůstat špony v díře a mohlo by hrozit špatné upnutí. V případě neočištění, hrozí také otlačení špon do povrchu již obrobené díry. Čištění probíhá pomocí nerezové trubičky, do které je přiveden vzduch přes FESTO nástrčné šroubení QS-G1/8-8 [27] a nerezové matice. Matice je z jedné strany navařená na trubičku a z druhé má závit pro nástrčné šroubení. Nerezová trubička je držákem a dvěma šrouby M4 x 8 (ITEM 8.0.001.98) [6] přichycena k nosné desce.

Nosná deska funguje jako nosný prvek pro všechny části hlavy UR robota. Nosná deska je z hliníku a disponuje mnoha závitovými dírami a středícími otvory. Z jedné strany se připevní na přírubu robota a z druhé strany desky tříbodové chapadlo. Aby byla zachována co největší přesnost robota, tak jsem použil středící prvky. Mezi čelistmi a tříbodových chapadlem jsem použil ve dvou směrech Středící dutinky FESTO ZBH-7 [37]. Mezi tříbodovým chapadlem a nosnou deskou jsem navrhl Středové upevnění FESTO SLZZ-25/16 [37]. Mezi nosnou deskou a přírubou UR robota jsem použil Středící kolík 6 x 12 - ISO 2338. Na obrázku 3.20 lze vidět rozklad sestavy hlavy.



Obrázek 3.20 – Rozložený pohled Hlavy UR robota



Nosná deska je upevněna pomocí čtyř šroubů M6 x 8 - DIN 912. Předepsaný utahovací moment je 8 [N · m] dle manuálu výrobce Universal Robots [36]. Tříbodové chapadlo HGDT-50-A-G1 je přitaženo k desce třemi šrouby M6 x 75 - DIN 912. Čelisti jsou pro vyšší tuhost a pevnost připevněny k tříbodovému chapadlu ve dvou směrech. V jednom směru vždy pro jednu čelist jsem navrhl dvojici šroubů M5 x 25 - DIN 912 a v druhém směru jeden delší šroub M6 x 60 - DIN 912.

Pro přívod stlačeného vzduchu k tříbodovému chapadlu HGDT jsem navrhl nástrčná šroubení tvaru L a typu QSL-G1/8-62 [27]. Také pro určení polohy válce jsem navrhl dvě čidla SMT-10M-NS-24V-E-0.3-Q-M8D-1 [28]. Čidla jsou vsunuty do příslušných drážek tříbodového chapadla.

Ověření správnosti volby navrženého tříbodového chapadla HGDT-50-A-G1 jsem provedl podle online výpočtového softwaru FESTO Engineering [38]. Navrhl jsem zdvih chapadla 8 [mm], tak aby čelisti bez problému uchopily kus. Odlitky nemají vždy stejné rozměry, a proto tam díky většímu zdvihu vzniká určitá vzdálenostní mezera mezi čelistmi a vnitřní dírou odlitku. Výpočtový software má tři části. V prvních dvou částech se vkládají údaje o výrobku, čelistích (palec chapadla), uspořádání apod.. Tyto dva kroky jsou zobrazeny na obrázcích 3.21 a 3.22. Poslední třetí krok je zobrazení vhodnosti tříbodového chapadla, což jsem ukázal na obrázku 3.23. Všechny hmotnostní údaje a rozměrové údaje jsem získal z 3D modeláře Solidworks 2015. Součinitel tření mezi čelistí a kusem (hliník/ocel) jsem zvolil 0,5 dle [38]. Výpočet byl proveden v takové situaci, kdy je zatížení na tříbodové chapadlo největší.

1. údaje o výrobku a palci chapadla
2. další nastavení
3. vytižení chapadla v%

**údaje o výrobku**

vzdálenost O-čára -> těžiště:	84	mm
hmotnost výrobku:	7530	g
potřebný zdvih:	8	mm

**údaje o jednom palci chapadla**

hmotnost jednoho palce chapadla:	86	g
vzdálenost O-čára -> těžiště:	16.61	mm
vzdálenost O-čára -> tlakový bod (bod úchopu):	43	mm

Obrázek 3.21 – Výpočtový software: 1. část vkládání údajů [38]

1. údaje o výrobku a palci chapadla

2. další nastavení

3. vytížení chapadla v%

údaje o pohybu

zrychlení v:

směr y

největší přímočaré zrychlení:

0.3

m/s<sup>2</sup>

uspořádání

poloha chapadla:

vertikální

směr úchopu:

otevír.

úchop třením nebo tvarový:

i úchop třením

jiné úlohy

provozní tlak:

6

bar

koeficient tření:

0.5

koeficient bezpečnosti:

3

teplota zařízení:

20

°C

Obrázek 3.22 – Výpočtový software: 2. část vkládání údajů [38]

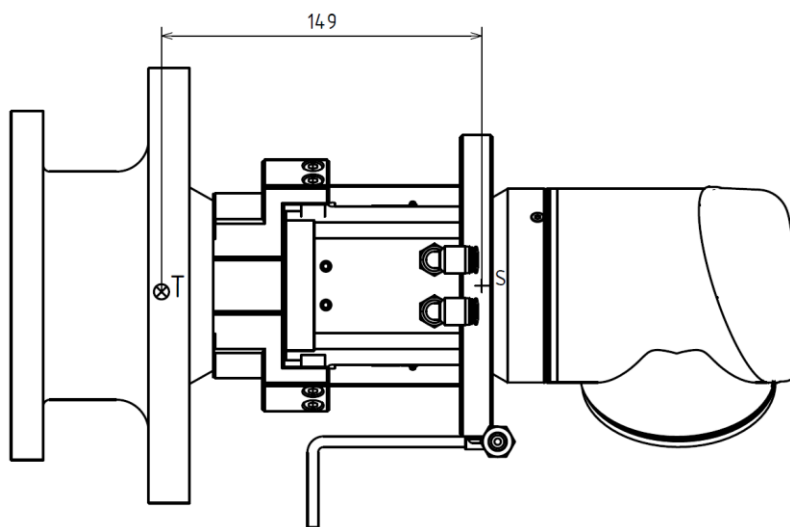
standardní chapadlo		robustní chapadla			
560186	HGDT-50-A-F	8,89 kg	4 mm	ne OK	
560187	HGDT-50-A-F-G1	9,38 kg	4 mm	ne OK	
560188	HGDT-50-A-F-G2	9,23 kg	4 mm	ne OK	
540869	HGDT-50-A-G1	9,38 kg	8 mm	OK	
540870	HGDT-50-A-G2	9,23 kg	8 mm	OK	
540871	HGDT-63-A	9,66 kg	10 mm	OK	
560189	HGDT-63-A-F	9,66 kg	5 mm	ne OK	
560190	HGDT-63-A-F-G1	10,26 kg	5 mm	ne OK	

Type	výsledky			max. možná		
požadovaná přídržná statická síla	147.74	N	37%	395.45	N	
požadovaná přídržná dynamická síla	152.26	N	38%	395.45	N	
střední vzdálenost tlakových bodů	43	mm	47%	90	mm	
dynamická podélná síla na palcích chapadla	25.47	N	25%	1500	N	
dynamický podélný moment Mx	0.06	Nm	0%	50	Nm	
dynamický příčný moment My	0	Nm	0%	30	Nm	
dynamický příčný moment Mz	0	Nm		50	Nm	

Obrázek 3.23 – Výpočtový software: 3. část zobrazení výsledků [38]

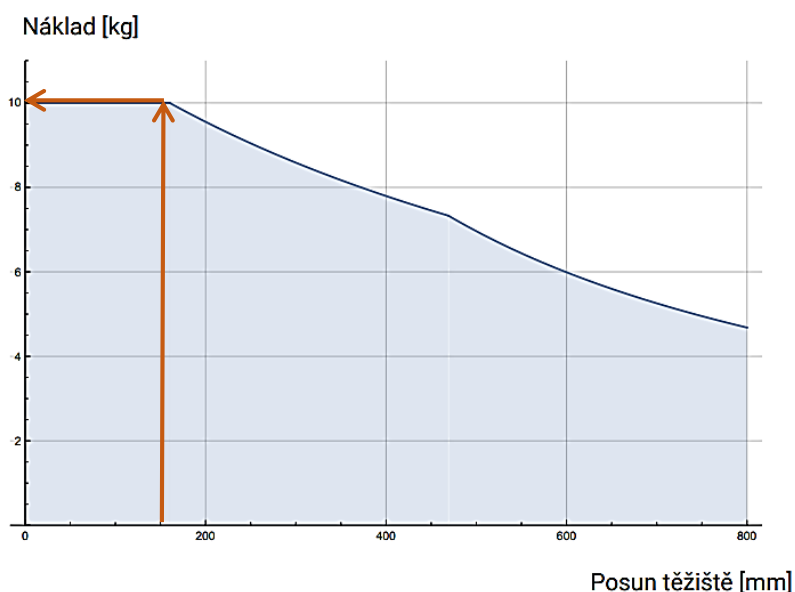
Z výsledků softwaru od společnosti FESTO plyne, že navržené tříbodové chapadlo zvládne zatížení, které je na něj kladeno. Dokonce i některé chapadla o velikosti 40 by mohla být použita. Ovšem zdvih u těchto chapadel je maximálně 6 [mm], a proto jsem je nepoužil.

Jako poslední věc, kterou jsem musel ještě provést, bylo zkontrolování maximální únosnosti UR robota. Maximální únosnost ovlivňuje vzdálenost těžiště hlavy UR s odlitkem (bod T) od koncové příruby robota (bod S). Schéma nákresu lze vidět na obrázku 3.24. Těžiště bylo stanoveno pomocí softwaru a je ve vzdálenosti 149 [mm]. Pracuji s variantou, kdy je kus uchopen za vzdálenější stupeň čelistí, a tím je tedy těžiště dále od příruby robota.



Obrázek 3.24 – Zobrazení těžiště hlavy UR robota

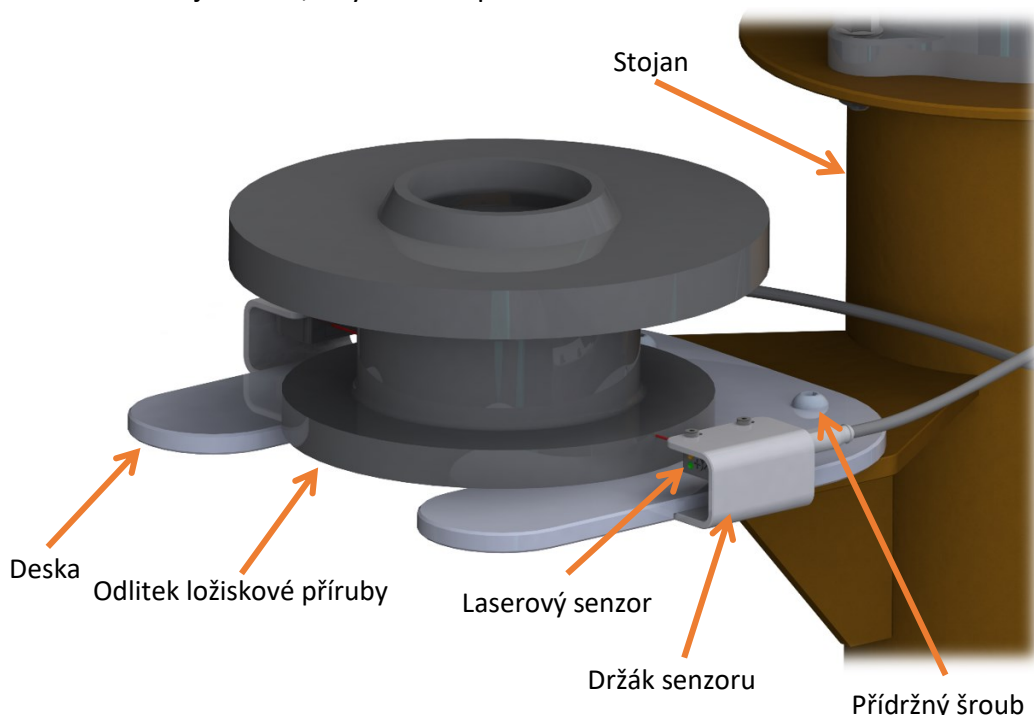
Následně jsem vynesl hodnotu tzv. posunu těžiště do grafu, který je zveřejněný v manuálu od výrobce [36]. Z grafu plyne, že robot UR10e má stále maximální únosnost 10 [kg]. Váha všech prvků hlavy je přibližně 9,6 [kg], je tam tedy ještě určitá váhová rezerva.



Obrázek 3.25 – Vztah mezi maximálním povoleným nákladem a posunem těžiště [36]

### 3.4.3 Přeúchopovací pozice

Tento konstrukční prvek slouží pro krátkodobé odložení odlitků a je ho možné vidět na obrázku 3.26. Jakmile je první obráběcí proces hotový, tak je nutné, aby robot odebral kus ze sklíčidla a položil jej na přeúchopovací pozici. Robot přitom uchopí obrobek za vnitřní díru z čela a položí zadní stranou na desku (tak jak je zobrazeno na obrázku 3.26). Poté robot ze spodní strany uchopí odlitek a vloží jej zpět do sklíčidla CNC stroje. Odlitek se tedy ve sklíčidlu pouze otočil. V dnešní době jsou již CNC stroje, které mají dvě vřetena a tahle operace a konstrukční prvek by se nemusely řešit. Ovšem stroj na mém pracovišti má pouze jedno vřeteno a je nutné, aby otočení provedl robot.



Obrázek 3.26 – Přeúchopovací pozice

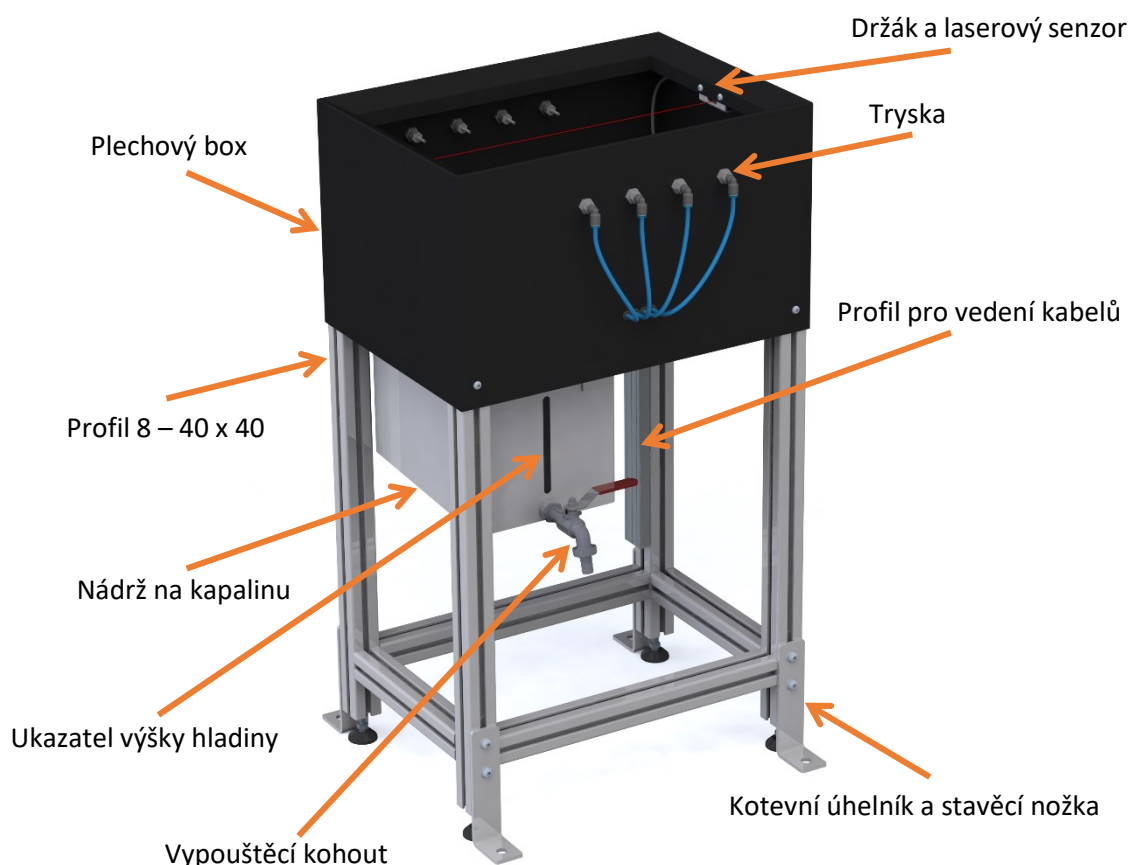
Nosný prvek je zde nerezová deska, která je připevněna ke stojanu pomocí dvou šroubů M8 x 25 (ITEM 8.0.000.04) [6], podložek 9,3 - DIN 6905 a matic M8 – DIN EN 24 032. Navrhl jsem zde záměrně šroubové spojení, kvůli větší variabilitě a možné pozdější výměny, nebo úplného odstranění desky. Deska je ve tvaru písmene U, tak aby bylo možné na to položit odlitek z obou stran. Na desku jsou připevněny držáky senzorů pomocí dvou šroubů M5 x 8 (ITEM 8.0.001.98) [6]. Místo matic jsem navrhl v desce závitové díry. Pro indikaci, zda je odlitek na desce či nikoliv, jsem navrhl laserové senzory SICK WS/WE100L-F2131 [20]. Stejně jako u dopravníku, se jedná o typ senzoru s jednocestnou světelnou závorou a viditelným červeným světlem. Polohu senzoru, lze díky drážkám v držáku, nastavit ve dvou směrech.

### 3.5 Čistící zařízení

Toto zařízení jsem navrhl proto, aby každý obrobený kus, dříve než je uložen UR robotem na paletu, byl důkladně očištěn. Čistící zařízení lze vidět na obrázku 3.27.

Při obrábění vznikají špony a malé kovové nečistoty. Dále se při procesu obrábění používá řezná kapalina. Čistící zařízení musí tedy spolehlivě očistit povrch od všech nežádoucích nečistot. Navrhl jsem čištění pomocí stlačeného vzduchu. Na stranách zařízení jsem navrhl celkem osm vzduchových trysek, které mi obrobek spolehlivě očistí. Robot se s uchopeným kusem pohybuje nahoru a dolů v zařízení. Při těchto pohybech naklání kus z jedné strany na stranu. Tyto pohyby robot neustále provádí po určitou dobu. Přesná délka času obrobku v zařízení je naprogramována, až při instalaci zařízení. Jakmile je obrobek čistý a suchý, tak je položen na odkládací zařízení.

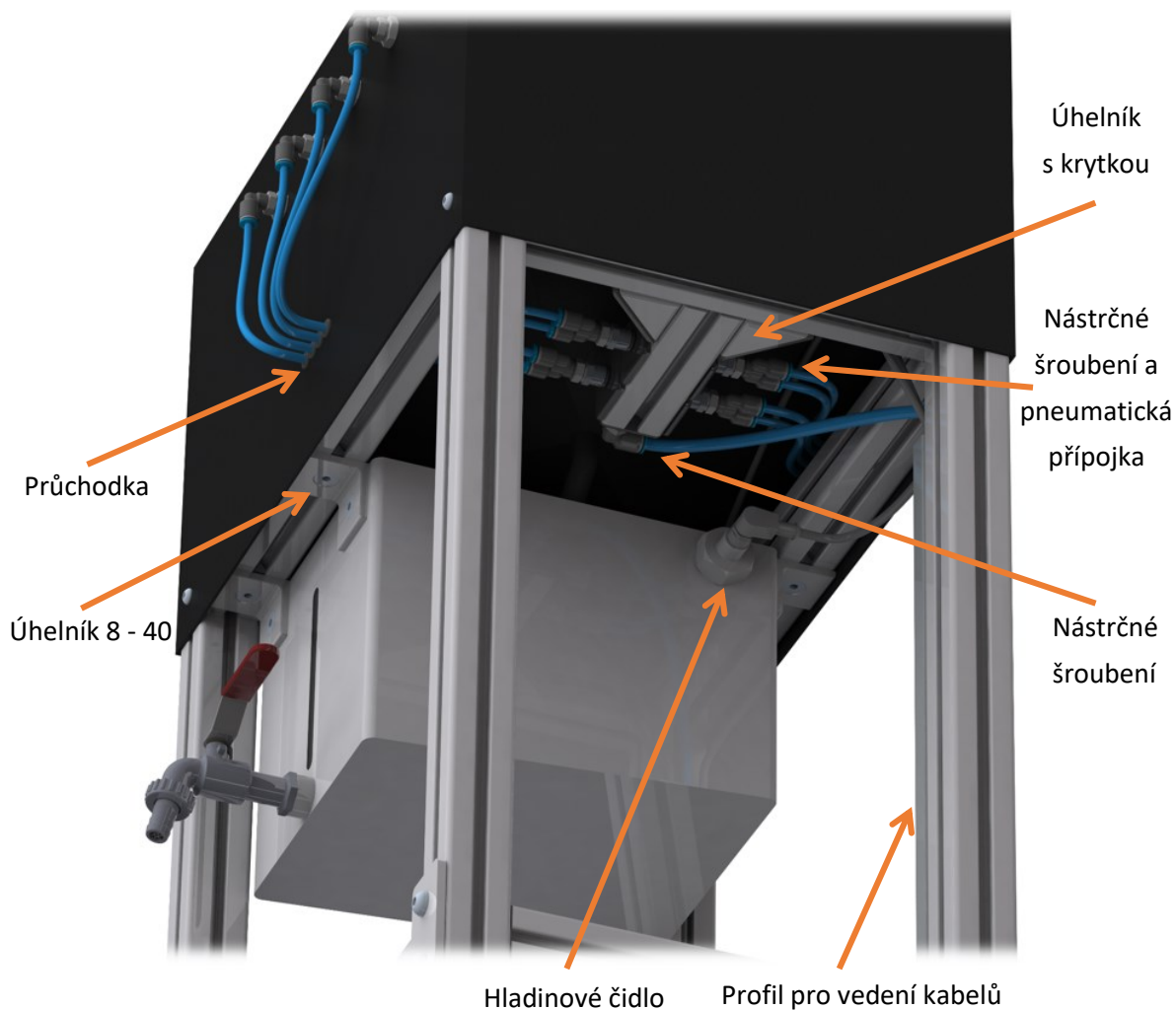
Konstrukce čistícího zařízení je ze stavebnicového systému hliníkových profilů ITEM. Níže pospané prvky jsem navrhl z knižního katalogu ITEM MB Systembaukasten [6]. Konstrukce ve tvaru hranolu je z Profilu 8 - 40 x 40 (0.0.026.03). Všechny profily jsou spojeny pomocí Automatického spoje 8 (0.0.388.08), který je zobrazen na obrázku 3.5 (viz kapitola 3.3.1 Rám dopravníku). Čtyři svislé hliníkové profily jsou upevněny na Stavěcích nožkách D40 - M8 x 60 (0.0.364.68) s plastovou podstavou.



Obrázek 3.27 – Čistící zařízení

Každou stavěcí nožku lze výškově nastavit, tak aby zařízení bylo v rovnovážné poloze. Pro pevné uchycení k základu pracoviště jsem navrhl Úhelník kotevní 8 - 160 x 60 x 40 St (0.0.666.50). Kotevní úhelník je k profilu připevněn pomocí šroubů a drážkových matic umístěných v profilu. Do základu pracoviště je úhelník připevněn pomocí šroubů. Čistící zařízení je proto velmi stabilní.

Ofoukaná řezná kapalina se shromažďuje v nerezové nádrži na kapalinu. Nádrž má dostatečný objem 10 [dm<sup>3</sup>]. Jakmile je nádrž plná, obsluha vypustí nádrž pomocí Vypouštěcího kulového kohoutu 1/2" [40]. Ukazatel výšky hladiny informuje obsluhu o tom, jak je nádrž moc naplněna. Ukazatel jsem navrhl z čirého plexiskla, které je nalepeno z vnitřní strany stěny nádrže. Pokud by obsluha přehlédla tento indikátor, navrhl jsem hladinové čidlo SICK MHF15-21NG1HSM [41] (viz obrázek 3.28). Jakmile čidlo zaregistruje hladinu kapaliny, tak okamžitě zastaví provoz pracoviště. Nádrž na kapalinu je uchycena k profilům pomocí čtyř Úhelníků 8 – 40 (0.0.665.53) a Spojovací sady 8 se šroubem M8 (0.0.680.96). Spojovací sada se skládá ze šroubu se zápustnou hlavou a drážkové matice. V nádrži jsem navrhl nerezové matice M8 - DIN 439 B, které jsou navařeny z vnitřní strany. K těmto maticím jsou přitaženy šrouby se zápustnou hlavou.



Obrázek 3.28 – Detailní pohled zespodu na čistící zařízení

Plechový box slouží k zachycení všech nečistot a kapalin. Dno boxu je zešíkmeno, tak aby byl zaručen spád a odtok kapalin do nádrže. Mechanické nečistoty jsou zachyceny sítkem, které je v odtokové trubce v plechovém boxu. V nádrži se již shromažďuje jen samotná kapalina, která tvoří největší podíl nečistot na obrobcích. Box je na hliníkovou konstrukci nasazen seshora a připevněn čtyřmi šrouby M6 x 12 (8.0.002.40).

V plechovém boxu jsou umístěny vzduchové trysky, které jsem navrhl pro čištění obrobku stlačeným vzduchem. Každá tryska se skládá ze tří komponentů. Prvním z nich je Nástrčné šroubení FESTO QSL-G1/8-6 [27] ve tvaru L, do kterého je přivedena vzduchová hadička o průměru 6 [mm]. Další prvek je Šroubení se závitem FESTO NPFC-H-G18-F [42], které funguje jako průchodka a je pevně přitaženo k plechu boxu. Posledním prvkem je Nástrčné šroubení FESTO NPQH-D-G18-S4-P10 [43], které má přímý tvar. Poslední prvek má tvar trysky a výstupní průměr má 2,5 [mm]. Tento malý průměr zajistí zvýšení rychlosti proudění stlačeného vzduchu. Obě nástrčná šroubení jsou spojena s průchodkou pomocí závitového spojení. Pneumatická hadička je přivedena ze spodní části zařízení do nástrčného šroubení přes Kabelovou průchodku KDF6 [44]

Aby čištění obrobku probíhalo automaticky a jen když je obrobek uvnitř nádoby, tak jsem navrhl jeden pár laserových senzorů SICK WS/WE100L-F2131 [20]. Stejně senzory jsem použil na dopravníku i na přeúchopovací pozici. Jakmile obrobek přeruší viditelné červené světlo senzorů, tak začne čistící zařízení s ofoukáváním. Foukání vzduchu probíhá, jen když je kus uvnitř plechového boxu. Každý senzor je uchycen pomocí hliníkového držáku, který je přichycen vždy dvěma šrouby M5 x 8 (8.0.000.24) k boxu. Držák senzorů jsem navrhl tak, aby bylo možné čidla nastavit ve dvou směrech. To je pak velmi důležité pro pozdější seřízení senzorů. Kabely od senzorů jsou vedeny vnitřní částí boxu a pomocí Kabelové průchodky KDF 4,5 [45] vyvedeny ven do profilu pro vedení kabelů.

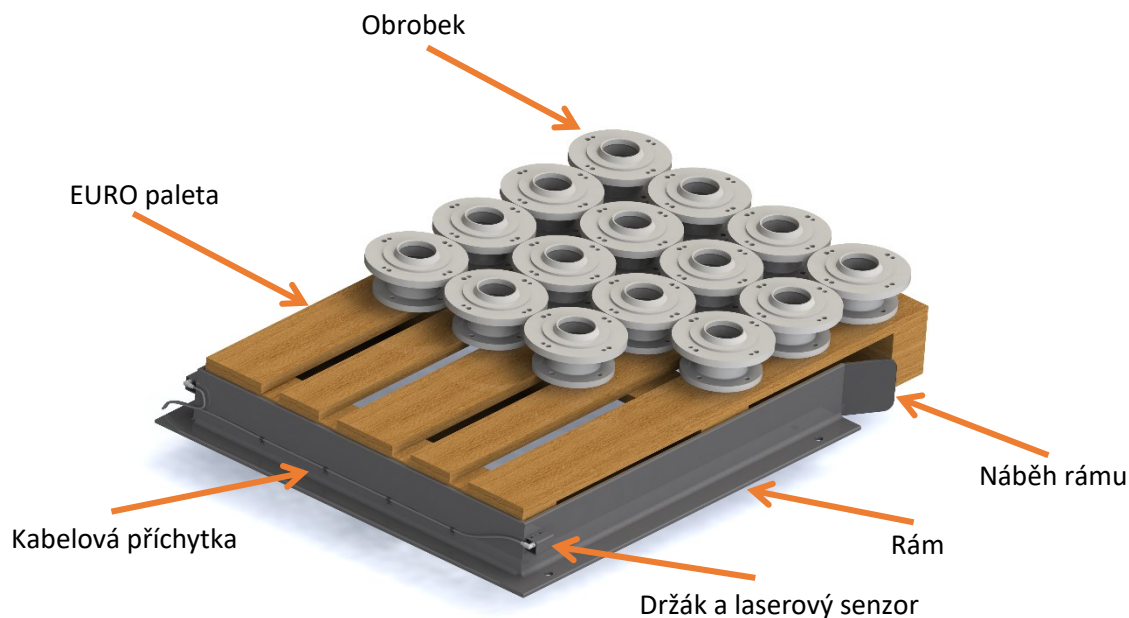
Pro rozvod stlačeného vzduchu ve spodní části čistícího zařízení, jsem využil možnost vedení vzduchu v hliníkových profilech. Pneumatické přípojky 8 – G1/8 (0.0.411.73) se zašroubují do předvrtaných děr v Profilu 8 - 40 x 40 (0.0.026.03). Zvolil jsem vedení vzduchu v profilu, protože jsem nemusel navrhovat další speciální držáky na pneumatická nástrčná šroubení. Profil pro vedení vzduchu je upevněn pomocí dvou Úhelníků 8 – 40 x 40 (0.0.411.15). Stlačený vzduch je přiveden hadičkou o průměru 8 [mm] do Nástrčného šroubení QSL-G1/8-8 [27] ve tvaru L. Toto šroubení je spojeno pomocí závitů s pneumatickou přípojkou. Vzduch vystupuje hadičkou o průměru 6 [mm] čtyřmi Nástrčnými přípojkami QSY-G1/8-6 [27], ve tvaru Y. Odtud jsou všechny hadičky vedeny do trysek.

Profil pro vedení kabelů 8 – 40 x 16 (0.0.654.44) jsem navrhl pro bezpečné vedení pneumatických hadiček a elektrických kabelů do kabelového mostu.



### 3.6 Odkládací zařízení

Posledním ze čtyř konstrukčních uzlů je odkládací zařízení, které jsem zobrazil na obrázku 3.29. Toto zařízení slouží pro odkládání hotových obrobků na paletu, která je poté obsluhou odvezena, jakmile je naplněna. UR robot ukládá obrobky vedle sebe s mezerou 1 [mm], tak aby nedošlo k poškrábání obrobku.



Obrázek 3.29 – Odkládací zařízení

Robot ukládá obrobky na EURO paletu o rozměrech 1200 x 800 [mm]. Paleta, dle mého názoru, je nejvhodnější transportní prvek, pro přesun obrobků ve výrobní hale. Z tohoto důvodu, jsem už v teoretické části zvolil tuto variantu přepravy. Na paletu se vejde maximálně 24 kusů. Jakmile je paleta plná, musí být obsluhou vyměněna, jinak dojde k zastavení automatizovaného pracoviště.

Obsluha paletu dopraví do rámu pomocí paletového vozíku. Rám je robustní a svařen z profilů L - 120 x 80 x 8 [46]. Rám má dostatečnou šířku, tak aby obsluha snadno vjela s paletou do koncové polohy. Také jsem navrhl náběh rámu, který opět slouží k snadnějšímu navedení palety do rámu zařízení. Tento náběh je z tzv. ploché oceli 120 x 8 – 120 [47] a je navařen k rámu. V svařeném rámu jsou navrtány čtyři díry pro šrouby o velikosti M16. Tyto šrouby ukotví zařízení k základu pracoviště.

Pro správnou funkci zařízení jsem musel také navrhnout laserové senzory SICK WS/WE100L-F2131 [20]. Tyhle senzory snímají, zda je paleta v koncové poloze rámu, či nikoliv. Držáky senzorů jsem navrhl z Jeklu U 30 x 30 x 30 x 3 [48] a jsou přivařeny k rámu. Držáky jsou masivní a odolné proti náhodnému ukopnutí, nebo uražení. Pro vedení kabelů od senzorů jsem navrhl Kabelové příchytky Vogt Verbindungstechnik 5002.99 [49].



## 4 Analýza rizik

V této kapitole jsem se věnoval analýze rizik automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh. Cílem této analýzy je snížení rizika poranění obsluhy, které je dosaženo vhodnou kombinací ochranných opatření. Analýza rizik pro strojní zařízení je jeden z dokumentů, který je nutné vyhotovit. Vyžaduje to strojní směrnice 2006/42/ES. Dnes se již běžně zákazníkovi odevzdává analýza rizik společně s technickou dokumentací a samotným strojním zařízením. Bez analýzy rizik dnes nejde zkonstruovat bezpečné zařízení. V této práci jsem provedl bodovou metodu hodnocení. Tato metoda je jedna z nejpoužívanějších. Nutné je poznamenat, že analýza rizik se řeší dle ČSN EN ISO 12100 (Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika).

Analýza rizik se provádí v několika krocích. Poprvé se provádí analýza rizika, když vzniká projekt. Podruhé, když jsou hotové 3D modely a výkresová dokumentace. Potřetí se vytváří analýza, když se strojní zařízení spouští. Ideální je když u posledního kroku je přítomen i zákazník, který si stroj objednal, aby případně vše zkontroloval. Pokud někdo v dnešní době provádí analýzu až na hotovém stroji, tak hrozí to, že nebude dodržena patřičná bezpečnost a je tedy obsluha zařízení ohrožena na zdraví. Různě konstrukční úpravy a dodělovky na stroji jsou neefektivní a ekonomicky nevýhodné. Tyto opravy jsou taky často časové náročné.

Já jsem provedl analýzu před konstruováním a po vytvoření výkresové dokumentace. Třetí krok analýzy jsem neprovedl, neboť automatizované pracoviště ještě není fyzicky vyrobeno.

### 4.1 Tabulka rizik

Než jsem začal vypracovávat vyhodnocení všech rizik, bylo potřeba zmínit několik důležitých pojmů v této bodové metodě hodnocení. V prvním kroku analýzy jsem si v analýze určil zdroj rizika, potom jsem toto riziko blíže specifikoval. Nakonec jsem provedl vyhodnocení závažnosti daného rizika. Vypracování analýzy jsem prováděl v programu Microsoft Excel a to jsem následně zde zobrazil na obrázcích 4.1 a 4.2.

Pro snížení rizika jsem musel provést různá bezpečnostní opatření. Tyto opatření jsem si stanovil před samotným konstruováním jednotlivých prvků. Jakmile jsem měl hotové výkresy, provedl jsem opětovné vyhodnocení závažnosti všech rizik (první a druhý krok analýzy je rozdělen tučnou svislou čarou).

**a) Pravděpodobnost vzniku a existence nebezpečí - P**

Odhad pravděpodobnosti (P), se kterou může uvažované nebezpečí opravdu nastat, jsem stanovil dle stupnice odhadu pravděpodobnosti vzestupné číslem od 1 do 5, kde je zjednodušeně zahrnuta míra, úroveň a kritéria jednotlivých nebezpečí a ohrožení. Pravděpodobnost vzniku a existence nebezpečí jsem znázornil v tabulce 3.

*Tabulka 3 – Analýza rizik: Pravděpodobnost vzniku a existence nebezpečí*

PRAVDĚPODOBNOST VZNIKU NEBEZPEČÍ	STUPNICE
Nahodilá	1
Nepravděpodobná	2
Pravděpodobná	3
Velmi pravděpodobná	4
Trvalá	5

**b) Možné následky ohrožení - N'**

Rovněž pro stanovení pravděpodobnosti následku (N'), to je závažnosti nebezpečí, jsem stanovil stupnici od 1 do 5. Možné následky ohrožení jsem zobrazil v tabulce 4.

*Tabulka 4 – Analýza rizik: Možné následky ohrožení*

MOŽNÉ NÁSLEDKY OHROŽENÍ	STUPNICE
Poškození zdraví bez pracovní neschopnosti	1
Absenční úraz (s pracovní neschopností)	2
Vážnější úraz vyžadující hospitalizaci	3
Těžký úraz a úraz s trvalými následky	4
Smrtelný úraz	5

**c) Názor hodnotitelů – H**

V položce (H), v němž se zohledňuje míra závažnosti ohrožení, počet ohrožených osob, čas působení ohrožení, stáří a technický stav technologických zařízení, objektu apod., úroveň údržby, kumulace rizik, dynamičnost rizika, možnost zajištění první pomoci, vliv pracovního systému, pracovního prostředí a pracovních podmínek, psychosociální rizikové faktory, případně i další vlivy potencující riziko. Názor hodnotitelů jsem vynesl do tabulky 5.

Tabulka 5 – Analýza rizik: Názor hodnotitelů

NÁZOR HODNOTITELŮ	STUPNICE
Zanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	1
Malý vliv na míru nebezpečí a ohrožení	2
Větší, nezanedbatelný vliv na míru ohrožení a nebezpečí	3
Velký a významný vliv na míru ohrožení a nebezpečí	4
Více významných a nepříznivých vlivů na závažnost a následky ohrožení a nebezpečí	5

#### d) Souhrnná tabulka rizik

Do tabulky vytvoření pomocí Microsoft Excel (obrázky 4.1 a 4.2), jsem přehledně popsal všechny rizika, která mohou nastat v jednotlivých konstrukčních uzlech a zařízeních.

Druh činnosti:	Pracoviště	Zdroj rizika:	Identifikace rizika:	Vyhodnocení závažnosti rizika (1. krok)				Bezpečnostní opatření Opatření a doporučení k omezení rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika (2. krok)				Zbytkové riziko	
				P	N'	H	R		P	N'	H	R		
1. Mechanická nebezpečí:														
Osoby provádějící instalaci, obsluhu, seřizování, údržbu, čištění, opravu nebo přepravu strojního zařízení	Obecné	Ostré hrany	Říznutí, bodnutí	3	2	3	18	- opracování nebezpečných míst, zaoblení a sražení ostrých hran - použití lemovky - plastové krytky	2	2	1	4	-	
	Dopravník	Gravitační dopravník	Skřípnutí, sevření, stlačení horních končetin a prstů ruky	3	2	2	12	- malá rychlost spádu obrobků (malý sklon) - opatrná manipulace - osobní ochranné pracovní pomůcky (rukavice)	1	2	1	2	-	
	Dopravník	Zařízení pro posun odlitků	Skřípnutí, sevření, stlačení, pohmoždění, zlomení horních končetin a prstů ruky	3	2	3	18	- malá rychlost stlačení válce - výstražný piktogram - kryt z plechu	1	2	2	4	-	
	Robot UR10	Chapadla	Skřípnutí, sevření, stlačení, pohmoždění, zlomeniny	4	2	2	16	- konstrukcí snížené riziko (při otevření mezera menší než 6 mm) - při upínání zvuková signalizace - zaoblení hran	1	2	1	2	-	
	Robot UR10	Chapadla - pád výrobku z chapadel	Skřípnutí, sevření, stlačení, pohmoždění, zlomeniny dolních končetin	3	3	3	27	- řízený zpětný ventil - osobní ochranné pracovní pomůcky (boty s kovovou špicí)	1	3	1	3	-	
	Přeuchopovací pozice	Uložení odlitku	Skřípnutí, sevření, stlačení prstů ruky	3	2	1	6	- při ukládání odlitku na pozici zvuková signalizace - kolaborativní robot (rychlost max. 250 mm/s) - zaoblené hrany	1	2	2	4	-	
	Odkládací zařízení	Uložení obrobků na paletu	Sevření, skřípnutí, stlačení končetin	2	2	2	8	- osobní ochranné pracovní pomůcky (boty s kovovou špicí, rukavice) -kolaborativní robot (rychlost max. 250 mm/s) - při pokládání zvuková signalizace	1	2	2	4	-	

Obrázek 4.1 – Analýza rizik: Mechanická nebezpečí

Druh činnosti:	Pracoviště	Zdroj rizika:	Identifikace rizika:	Vyhodnocení závažnosti rizika (1. krok)				Bezpečnostní opatření Opatření a doporučení k omezení rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika (2. krok)				Zbytkové riziko
				P	N'	H	R		P	N'	H	R	
2. Elektrické nebezpečí / Pneumatika													
Údržba / oprava	Obecné	Elektrická zařízení – úraz elektrickým proudem	Úraz následkem zasažení pracovníků elektrickým proudem, při úmyslném dotyku živé části po odstranění krytů	5	5	4	100	Organizační opatření: - pracovníci musí být prokazatelně seznámeni obsluhou elektrických zařízení a proveden zápis ve smyslu §6, vyhl. 50/1978 Sb. - dodržování zákazu odstraňování bezpečnostních krytů - respektovat bezpečnostní sdělení Mechanická opatření: - normovaná a bezpečná izolace a krytování - proudová ochrana s jističi proudu - uzamykatelný rozvaděč	1	5	2	10	-
	Obecné	Elektrická zařízení – úraz elektrickým proudem	Úraz následkem zasažení pracovníků elektrickým proudem, při náhodilém dotyku živých a neživých částí pod proudem při poruše	5	5	4	100	Organizační opatření: - pracovníci musí být prokazatelně seznámeni obsluhou elektrických zařízení a proveden zápis ve smyslu §6, vyhl. 50/1978 Sb. - dodržování zákazu odstraňování bezpečnostních krytů - respektovat bezpečnostní sdělení - zajištěná vhodná ochrana při poruše a dostatečně rychlé odpojení od zdroje elektrické energie (proudový chránič). Mechanická opatření: - normovaná a bezpečná izolace a krytování - proudová ochrana s jističi proudu - uzamykatelný rozvaděč	1	5	2	10	-
	Obecné	Pneumatické vedení – švihnutí, ofuk na pozici Čistící zařízení	Úraz následkem vymrštěním hadice nebo jiného prvku.	1	2	3	6	- Dodržovat předepsané pracovní postupy pro údržbu a provoz. - Používat prostředky BOZP (především brýle) - Namontované bezpečnostní kryty a dodržování zákazu jejich odstraňování	1	2	2	4	-
Druh činnosti:	Pracoviště	Zdroj rizika:	Identifikace rizika:	Vyhodnocení závažnosti rizika (1. krok)				Bezpečnostní opatření Opatření a doporučení k omezení rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika (2. krok)				Zbytkové riziko
P	N'	H	R	P	N'	H	R						
3. Tepelné nebezpečí													
N/A													-
4. Nebezpečí vytvářená hlukem													
N/A													-
5. Nebezpečí													
N/A													-
6. Nebezpečí vytvářená zářením													
N/A													-
7. Nebezpečí vytvářená materiály a látkami													
N/A													-
8. Nebezpečí vytvářená zanedbáním ergonomických zásad při konstrukci stroje													
N/A													-
9. Nebezpečí uklouznutí a pádu													
Manipulace a obsluha kolem stroje	Obecné	Uklouznutí nebo zakopnutí	Úraz následkem pádu	1	2	2	4	- používat vhodnou pracovní obuv -používat vhodnou pracovní obuv -udržovat pořádek a čistotu v okolí stroje dle předepsaných standardů firmy	1	2	2	4	-
10.Kombinace nebezpečí													
N/A													-
11. Nebezpečí spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán													
N/A													-

Obrázek 4.2 – Analýza rizik: Ostatní nebezpečí

#### e) Celkové hodnocení daného rizika - R

Celkové hodnocení rizika jsem získal následovně po stanovení jednotlivých činitelů součinem, jehož výsledkem je pak ukazatel míry rizika – R.

$$R = P \cdot N' \cdot H [-]. \quad (8)$$

Tabulka 6 – Analýza rizik: Celkové zhodnocení

RIZIKOVÝ STUPĚŇ	R	MÍRA RIZIKA
I.	> 100	Nepřijatelné riziko
II.	51 ÷ 100	Nežádoucí riziko
III.	11 ÷ 50	Mírné riziko
IV.	3 ÷ 10	Akceptovatelné riziko
V.	< 3	Bezvýznamné riziko

V této kapitole byly provedeny analýzy rizik před započítáním konstruování a po vyhotovení výkresové dokumentace. Kompletní soubor analýzy rizik, když je již stroj postaven, obsahuje také ještě bezpečnostní opatření, kvalifikace obsluhy, upozornění na rizikové faktory, mechanická rizika, rizika úrazem elektrickým proudem, bezpečnostní prvky na stroji a informace o stroji.

## 4.2 Vyhodnocení analýzy rizik

Na strojním zařízení jsem provedl taková opatření, která snižují popsaná rizika na minimální úroveň. Je tedy splněn předpoklad pro odpovídající snížení rizika dle ČSN EN ISO 12100, čl. 5.6.2.

#### ODPOVÍDAJÍCÍ SNÍŽENÍ RIZIKA JE DOSAŽENO TEHDY:

- byly-li uvažovány všechny provozní podmínky a všechny postupy zásahů,
- byla-li nebezpečí vyloučená nebo rizika snížena na nejnižší možnou úroveň,
- byla-li náležitě ošetřena všechna nová nebezpečí, která byla způsobena ochranným opatřením,
- jsou-li uživatelé dostatečně informováni a varováni o zbytkových rizicích,
- jsou-li ochranná opatření vzájemně kompatibilní,

- byly-li dostatečně uváženy následky, které mohou vzniknout při používání stroje, který byl navržen pro průmyslové použití,
- nemají-li ochranná opatření nepříznivý vliv na pracovní podmínky obsluhy nebo použitelnost stroje.

#### IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ A POSOUZENÍ RIZIKA:

Posouzení rizika je řada logických kroků umožňující analyzovat a zhodnotit určitá rizika spojená s daným zařízením. Pokud je při posouzení rizika zjištěno nebezpečí, následuje proces snížení rizika, při kterém dochází k vyloučení nebezpečí a k adekvátnímu snížení rizik realizací ochranných opatření. Pokud na daném stroji není žádné ochranné opatření, předpokládá se, že nebezpečí existující na stroji povede dříve nebo později k úrazu.

#### SEZNAM NEBEZPEČÍ, KTERÁ MOHOU BÝT SPOJENA S ROBOTY:

- mechanická nebezpečí (stlačení, pořezání, navinutí, náraz, propíchnutí, odření),
- elektrická nebezpečí (elektrický šok, popálení, ovlivnění kardiostimulátoru),
- tepelná nebezpečí (popáleniny, výbuch, dehydratace),
- nebezpečí hluku (narušení a ztráta sluchu, rovnováhy, vědomí),
- nebezpečí vibrací (únava, neurologické poškození, cévní onemocnění),
- nebezpečí záření (popáleniny, onemocnění),
- nebezpečí látky (otrávení, popáleniny, vdechnutí kouřů a prachu),
- ergonomická nebezpečí (únava, náraz, stres, ztráta vědomí),
- kombinace nebezpečí (vnější vlivy na zdroji energie, obnovení dodávky energie po jejím spuštění, neočekávané spuštění).

#### ZDROJE RIZIK:

- neúmyslné nebo neočekávané spuštění stroje,
- chyba obsluhy (nedostatečná kvalifikace, chyby v programu),
- nezastavení pohyblivých částí,
- nebezpečí okolního prostředí (výbušné prostředí apod.).

PŘI SNAZE DOSÁHNOUT SNÍŽENÍ RIZIKA JE NUTNO VZÍT V ÚVAHU:

- schopnost stroje vykonávat danou funkci,
- bezpečnost stroje během jeho celé životnosti,
- použitelnost stroje,
- výrobní a provozní náklady stroje a náklady na jeho vyřazení.

## 5 Závěrečná doporučení

3D model a výkresovou dokumentaci automatizovaného pracoviště jsem vypracoval. Taktéž jsem vyhotovil analýzu rizik. Nyní už zbývá pracoviště vyrobit a postavit. Taktéž se musí ještě zapojit všechny pneumatické hadice a elektrické kabely. Může se stát, že některé konstrukční prvky nebudou správně fungovat. V tomto případě je potom nutné provést opravu daných dílů a znova je vyrobit.

Aby pracoviště správně fungovalo, je potřeba všechny konstrukční uzly správně naprogramovat. O to se postará programátor, který takzvaně oživí a rozběhne celé pracoviště. Úkolem programátora je správné nastavení UR robota a všech řídicích a ovládacích prvků pracoviště. Důležité je správné naprogramování CNC obráběcího stroje se zbytkem automatizovaného pracoviště.

Také je nutno výškově seřídit dopravník, tak aby odlitky se pohybovaly přiměřenou rychlostí k dorazu. Je nutné výškově a směrově nastavit všechny laserové senzory. Je potřeba ukotvit do správných pozic odkládací zařízení, čistící zařízení stojan a dopravník. Dále se musí otestovat správná funkce všech pneumatických komponentů.

V tomto pracovišti jsem navrhnul kolaborativního robota, který bude spolupracovat s člověkem. Je tedy nutné bezpečně vyzkoušet, zda dojde k zastavení UR robota v případě naražení do obsluhy. Také je potřeba obsluhu pracoviště řádně vyškolit na tento typ robota.

Při běžné činnosti pracoviště musí obsluha pravidelně zadávat korekce do CNC soustruhu. Jinak by docházelo k výrobě rozměrově nepřesných součástí neboli zmetků. Tenhle úkon je možné zautomatizovat. Experimentálně by se zjistilo, jak jsou nutné velké korekce za určitý časový úsek. Také by se stanovil obráběcí čas na jednotlivé břitové destičky použité do obráběcích nožů. Vytvořil by se program, který by automaticky nastavoval korekce po určitém čase. V případě výměny destičky by se zastavilo pracoviště a obsluha by provedla výměnu destičky.

Jako další možné řešení nastavování automatických korekcí se jeví umístění automatického měřicího zařízení. Do tohoto zařízení by umístil UR robot hotový obrobek. Zařízení by změřilo jeho funkční rozměry a okamžitě by se nastavily příslušné hodnoty korekce u CNC stroje. Díky těmto úpravám by pracoviště bylo efektivnější.



## 6 Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval konstrukčním návrhem automatizovaného pracoviště pro CNC soustruh.

Na úvod práce jsem vypracoval stručnou rešerši ohledně standartních a kolaborativních robotů. U obou typů jsem pospal jejich vlastnosti, přednosti, slabiny a také jsem zobrazil a uvedl příklad každého z nich. Do rešerše jsem také zařadil popis CNC soustruhu, pro který je toto automatizované pracoviště navrhováno.

V druhé kapitole této práce jsem vybíral nejvhodnější variantu návrhu řešení ze dvou navržených. Aplikoval jsem metodu Obecného modelu postupu při konstruování, který vydal před několika lety pan Vladimír Hubka. Výstupem byla nejlepší varianta pracoviště s UR robotem.

Třetí kapitola byla praktická část, kde jsem vytvářel samotný konstrukční návrh automatizovaného pracoviště. Nejprve jsem celé pracoviště zobrazil a popsal, z jakých konstrukčních uzlů se skládá. V průběhu třetí kapitoly jsem detailně zobrazil a popsal všechny konstrukční uzly tak, aby šlo jasně pochopit princip funkce, a z čeho se daný prvek skládá. Také jsem zde použil několik výpočtů a výpočtových softwarů, které byly nezbytně nutné pro správný konstrukční návrh. Praktickou část jsem také konzultoval s konstruktéry ze zadávající společnosti.

Pro bezpečné fungování každého strojního zařízení je nutné vypracovat analýzu rizik. Tu jsem obsahově zařadil ke konci této práce, i když se první krok analýzy provádí už před započítáním navrhování. Díky vypracování dvou kroků analýzy rizik je pracoviště dostatečně bezpečné dle normy ČSN EN ISO 12100.

Na závěr jsem zmínil doporučení, které je potřeba vykonat, aby automatizované pracoviště fungovalo správně. Také jsem zde uvedl, kterým směrem v budoucnu by se mohlo postupovat, aby došlo k zefektivnění tohoto pracoviště.

## Poděkování

Na úplný závěr bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Haplovi z Katedry výrobních strojů a zařízení. Především za odbornou pomoc a veškerý věnovaný čas během zpracovávání diplomové práce.

Dále bych chtěl velmi poděkovat společnosti EPO Machinery s.r.o. a panu DiS. Marku Kociánovi cenné rady a připomínky.

Také velké poděkování patří přátelům, rodičům, známým a všem ostatním, kteří mne podporovali při vytváření diplomové práce.

## 7 Seznam literatury

- [1] KALÁB, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře – části spojovací. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [2] HUBKA V., Konstrukční nauka – Obecný model postupu při konstruování. Zürich: Heureka, 1992, 118 s. ISBN 80-901135-0-8.
- [3] NĚMČEK, M. Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje. Ostrava: Editační středisko VŠB, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8.
- [4] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2003, 888 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [5] KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka – části strojů a převody (2. část). Praha: Scientia, 1995, 291 s. ISBN 80-85827-88-3.
- [6] Celkový katalog ITEM, MB Systembaukasten (Stavebnicový systém MB 9 - německá verze). Solingen: Item Industrietechnik GmbH, 2016, 726 s..
- [7] SKAŘUPA Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2007. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PRaM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf)
- [8] Historie průmyslových robotů [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/strucna-historie-prumyslovych-robotu>
- [9] Standartní robot ABB IRB 2400 [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-2400>
- [10] Kolaborativní robot Universal Robots UR16e [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://dreamland-robots.cz/ur16e-novinka-v-kolaborativni-rodine-universal-robots/>
- [11] Soustružnické centrum HAAS ST-20Y [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs/machines/lathes/st/models/y-axis/st-20y.html>
- [12] Soustružnické centrum HAAS ST-20Y [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: [https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/machines/lathes/stseries/models/st20y/assets/ST20y\\_RO\\_HERO.png/jcr:content/renditions/original.original/image.png](https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/machines/lathes/stseries/models/st20y/assets/ST20y_RO_HERO.png/jcr:content/renditions/original.original/image.png)

- [13] Kolaborativní robot Universal Robots UR16e [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/inspirace/produkty/seznamte-se-kolaborativni-robot-ur16e.html>
- [14] Porovnání standartní a kolaborativní robotiky [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/robot-vs-cobot.html>
- [15] Porovnání standartní a kolaborativní robotiky [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>
- [16] Ovládací panel Siemens KP700 Comfort [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://c4b.gss.siemens.com/resources/images/articles/dffa-b10135-02-7600.pdf>
- [17] Elektrický rozvaděč ETA ST4420 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [http://www.eta.it/wp-content/uploads/2016/12/ETA\\_CGRelease21\\_ST\\_SD\\_Boxes\\_IT.pdf](http://www.eta.it/wp-content/uploads/2016/12/ETA_CGRelease21_ST_SD_Boxes_IT.pdf)
- [18] Signalizační maják WERMA 649-000-02 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.werma.com/gfx/file/epaper/en/#36>
- [19] Automatický spoj ITEM [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.alvaris.eu/sites/default/files/styles/product\\_detail\\_breakpoints\\_theme\\_alvaris\\_xxlarge\\_1x/public/10118\\_anw.png?itok=9NNQ7ajd&timestamp=1541756705](https://www.alvaris.eu/sites/default/files/styles/product_detail_breakpoints_theme_alvaris_xxlarge_1x/public/10118_anw.png?itok=9NNQ7ajd&timestamp=1541756705)
- [20] Laserové čidlo SICK WS/WE100L-F2131 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/w100-laser/ws-we100l-f2131/p/p221858>
- [21] FESTO online katalog [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/products](https://www.festo.com/cat/cs_cz/products)
- [22] Jednotka na úpravu vzduchu - katalog [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/MS-CONFIG-COMBINATION\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MS-CONFIG-COMBINATION_CZ.PDF)
- [23] Jednotka na úpravu stlačeného vzduchu [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/products\\_MSB4?CurrentPartNo=531029](https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_MSB4?CurrentPartNo=531029)
- [24] Elektromagnetický ventil VUVG [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/VTUG-G\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VTUG-G_CZ.PDF)
- [25] Jednosměrný škrtící ventil GR-QS-6 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/GRXA\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/GRXA_CZ.PDF)

- [26] Řízený zpětný ventil HGL-1-8-QS-6 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/HGL\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HGL_CZ.PDF)
- [27] Nástrčná šroubení QS [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/QS\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/QS_CZ.PDF)
- [28] Přibližovací čidla SMT-8M-A-NS-24V-E-2-M8D [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/SMX8\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SMX8_CZ.PDF)
- [29] Pneumatický válec FESTO DFM-20-50-P-A-KF [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DFM\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DFM_CZ.PDF)
- [30] Software FESTO - GSED pro návrh válců [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/net/cs\\_cz/SupportPortal/Downloads/281627/216829/](https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Downloads/281627/216829/)
- [31] Kabelový most Vulcascot MCP 1 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://vulcascot.co.uk/brochure/mobile/index.html#p=1>
- [32] Kolaborativní robot UR10e [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur10/>
- [33] Kolaborativní robot UR10e – pracovní prostor [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/41472/1000700.PDF>
- [34] IGUS katalog - Systémy energetických řetězů [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.igus.cz/contentData/Product\\_Files/Download/pdf/CZ%20ECS%20light%202014%20Screen\\_04.pdf](https://www.igus.cz/contentData/Product_Files/Download/pdf/CZ%20ECS%20light%202014%20Screen_04.pdf)
- [35] Tříbodové chapadlo FESTO HGDT-50-A-G1 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/HGDT\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HGDT_CZ.PDF)
- [36] Robot UR10e - manuál [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/68311/99405\\_UR10e\\_User\\_Manual\\_en\\_Global.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/68311/99405_UR10e_User_Manual_en_Global.pdf)
- [37] Středící prvky FESTO [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/MOUNTING-COMPONENTS\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MOUNTING-COMPONENTS_CZ.PDF)
- [38] FESTO engineering – Tříbodové chapadlo [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/products\\_010911?PreSelID=90006](https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010911?PreSelID=90006)
- [39] Součinitel tření hliník - ocel [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>

- [40] Vypouštěcí kulový kohout 1/2 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.aquatopshop.cz/Kulovy-kohout-zahradni-1-2-x-3-4-d471.htm?gclid=EAlaIQobChMI\\_p2Wypy96AIVWJ3VCh3yXgSQEAQYASABEgLnmpD\\_BwE](https://www.aquatopshop.cz/Kulovy-kohout-zahradni-1-2-x-3-4-d471.htm?gclid=EAlaIQobChMI_p2Wypy96AIVWJ3VCh3yXgSQEAQYASABEgLnmpD_BwE)
- [41] Hladinové čidlo SICK MHF15-21NG1HSM [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://cdn.sick.com/media/pdf/4/44/844/dataSheet\\_MHF15-21NG1HSM\\_1052273\\_cs.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/4/44/844/dataSheet_MHF15-21NG1HSM_1052273_cs.pdf)
- [42] FESTO šroubení se závitem NPFC-H-G18-F [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_engb/PDF/EN/NPFC\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_engb/PDF/EN/NPFC_EN.PDF)
- [43] FESTO šroubení NPQH-D-G18-S4-P10 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/NPQH\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/NPQH_CZ.PDF)
- [44] Kabelová průchodka KDF 6 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/gumova-pruchodka-kdf6>
- [45] Kabelová průchodka KDF 4,5 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/gumova-pruchodka-kdf4-5>
- [46] Profil L 120 x 80 x 8 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/l-120x80x8/d-78963/>
- [47] Ocel plochá 120 x 8 - 120 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/plocha-ocel-120x8/d-78964/>
- [48] Jekl U 30 x 30 x 30 x 3 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/jekl-u-30x30x30x3/d-78966/>
- [49] Kabelová příchytka 5002.99 [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/kabelova-prichytka-vogt-verbindungstechnik-5002-99-jednopoutkova-5-mm--5-mm.k730045>

## 8 Seznam příloh

### Výkresová dokumentace:

- Příloha A: PUS0054-A1-001 – SESTAVA AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ
- Příloha B: PUS0054-A0-002 – SESTAVA DOPRAVNÍKU
- Příloha C: PUS0054-A1-003 – SESTAVA STOJANU S UR ROBOTEM
- Příloha D: PUS0054-A2-004 – SESTAVA ČISTÍCÍHO ZAŘÍZENÍ
- Příloha E: PUS0054-A2-005 – SESTAVA ODKLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ
- Příloha F: ODL85-00.10.00.00 – VÝKRES ODLITKU LOŽISKOVÉ PŘÍRUBY
- Příloha G: STR85-00.10.00.00 – VÝROBNÍ VÝKRES LOŽISKOVÉ PŘÍRUBY
- Příloha H: PNEUMATICKÉ SCHÉMA AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ

## 9 Seznam ilustrací a tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Standartní robot IRB 2400 od firmy ABB	14
1.2	Kolaborativní robot UR16e	15
1.3	Soustružnické centrum HAAS ST-20Y	17
2.1	Černá skříňka	24
2.2	Varianta řešení A (žlutá)	27
2.3	Varianta řešení B (červená)	27
3.1	Celkový návrh automatizovaného pracoviště	29
3.2	Automatizované pracoviště s popisem uzlů	30
3.3	Dopravník	31
3.4	Hliníková konstrukce dopravníku	33
3.5	ITEM Automatický spoj	33
3.6	Detailní pohled na koncovou polohu odlitku	35
3.7	Pneumatický rozvaděč	36
3.8	Jednotka na úpravu stlačeného vzduchu	37
3.9	Zařízení na posuv odlitků	39
3.10	Detail zařízení pro posuv odlitků v řezu	40
3.11	Zjednodušené schéma č. 1 pro výpočet síly $F_o$	41
3.12	Zjednodušené schéma č. 2 pro výpočet síly $F_o$	42
3.13	Výstup výpočtového programu FESTO GSED	43
3.14	Výstup výpočtového programu FESTO GSED	43
3.15	Stojan s UR robotem	44
3.16	Pracovní rozsah robotu UR10e v půdorysu	45
3.17	Pracovní rozsah robotu UR10e v bokorysu	46
3.18	Detail řetězu IGUS a objímky s koncovkou	47



3.19	Hlava UR robota	47
3.20	Rozložený pohled Hlavy UR robota	48
3.21	Výpočtový software: 1. část vkládání údajů	49
3.22	Výpočtový software: 2. část vkládání údajů	50
3.23	Výpočtový software: 3. část zobrazení výsledků	50
3.24	Zobrazení těžiště hlavy UR robota	51
3.25	Maximální povolený náklad a posun těžiště	51
3.26	Přeúchopovací pozice	52
3.27	Čistící zařízení	53
3.28	Detailní pohled zespodu na čistící zařízení	54
3.29	Odkládací zařízení	56
4.1	Analýza rizik: Mechanická nebezpečí	59
4.2	Analýza rizik: Ostatní nebezpečí	60

<u>Číslo tabulky</u>	<u>Název tabulky</u>	<u>Číslo stránky</u>
1	Morfologická matice	26
2	Výběr nejlepší varianty návrhu pracoviště	28
3	Analýza rizik: Pravděpodobnost vzniku	58
4	Analýza rizik: Možné následky ohrožení	58
5	Analýza rizik: Názor hodnotitelů	59
6	Analýza rizik: Celkové zhodnocení	61